1

SCIENTIFIC AMERICAN

Lo scienziato dilettante

a cura di C.L. Stong

Sansoni editore

Esperimenti e costruzioni
possibilità e curiosità
nei campi dell'Astronomia,
Archeologia, Biologia,
Scienze Naturali, Geologia,
Fisica Nucleare,
Macchine Matematiche,
Aerodinamica, Ottica, Calore,
Elettronica.
256 disegni e fotografie

Lo scienziato dilettante

Per lo scienziato dilettante del ventesimo secolo, questo è il primo libro del genere – un libro che insegna « come si fa »: come costruire camere a nebbia e razzi sperimentali, far crescere piante microscopiche, costruire e usare « macchine pensanti », ottenere un potente microscopio da una bacchetta di vetro; come disintegrare gli atomi, attirare i colibrì e studiare le loro abitudini, localizzare il punto di origine di terremoti anche molto distanti attraverso le vibrazioni che scuotono o fanno oscillare il terreno, contribuire ai progressi delle scienze archeologiche.
« Lo scienziato dilettante » è inoltre una guida preziosa per altre affascinanti e significative ricerche nei campi più importanti della scienza, dall'Astronomia alla Fisica nucleare, dall'Archeologia alla Geologia, dalla Biologia all'Elettronica.
Questo libro presenta i progetti più interessanti, tra quelli apparsi nella rivista « Scientific American », in gran parte aggiornati e accresciuti secondo le più recenti acquisizioni scentifiche.

Lo scienziato dilettante

a cura di C.L. Stong

Introduzione di Vannevar Bush

Sansoni editore

TITOLO ORIGINALE
THE AMATEUR SCIENTIST
SIMON AND SCHUSTER INC.
NEW YORK

COPYRIGHT © 1960 BY C. L. STONG
COPYRIGHT © 1964 BY G. C. SANSONI

Per il materiale
pubblicato in « Scientific American »
copyright © 1952-1960
by Scientific American, Inc.

TRADUZIONE DI ALDO SAIA

INDICE

Introduzione di Vannevar Bush IX
Prefazione di C. L. Stong XIII

I. Astronomia

1. *Ricreazioni astronomiche* 3
2. *Un semplice telescopio per dilettanti* 6
3. *Dispositivo a transistor per orientamento dei telescopi* 24
4. *Dispositivo elettronico per l'eliminazione del brillamento delle stelle* 35
5. *Un laboratorio di astrofisica nel cortile* 49
6. *Un metro cosmico dall'ombra della luce stellare* 70
7. *Una meridiana universale* 84
8. *Meridiana solare che scandisce il tempo con precisione* 99
9. *La Luna in tre dimensioni* 109

II. Archeologia

1. *Sono possibili per un dilettante gli scavi archeologici?* 115
2. *Gli scavi di Waparucket n. 6* 122

III. Biologia

1. *Come si coltivano innocui batteri da usare nelle osservazioni* 139
2. *Come si allevano le alghe* 159
3. *Esperienze di psicologia su di un ratto da laboratorio* 169
4. *Misurazione del metabolismo degli animali* 186
5. *Esperimenti di cromatografia* 196
6. *Elettroforesi di zona* 212

IV. Le scienze naturali

1. *Enigmi insignificanti della natura* 233
2. *Le gioie dello studio sui colibrì* 234
3. *Allevamento di farfalle e falene come animali da esperimento* 253
4. *Applicazione dilettantistica delle fascette agli uccelli* 266
5. *Note sui rettili ed anfibi* 277

V. Geologia

1. *Impariamo a conoscere le rocce* 295
2. *Le attrattive della sismologia dilettantistica* 308
3. *Un sismografo elettronico* 319
4. *Osservatorio sismologico dilettantistico* 330
5. *Come si seguono i satelliti artificiali terrestri in volo* 353
6. *Esperimenti sulla carica elettrica della terra* 364
7. *Apparecchio elettronico per le previsioni del tempo* 376
8. *Rilevamento della rotazione della terra* 387

VI. Fisica nucleare

1. *Esploriamo l'interno dell'atomo con una attrezzatura casalinga* 403
2. *Camere a nebbia per l'osservazione dei fenomeni subatomici* 406
3. *Un semplice spettrometro a risonanza magnetica* 445
4. *Disintegratore di atomi autocostruito* 458
5. *Esperimento di Millikan della goccia di olio* 483

VII. Macchine matematiche

1. *Una macchina per risolvere indovinelli* 505
2. *Macchina per giuoco del filetto* 513

3. *Elementi di teoria dei calcolatori* 515
4. *Come si progetta un circuito logico* 518
5. *Un topo elettronico che apprende dall'esperienza* 526
6. *Calcolatori ed il terrore della matematica* 532
7. *Le gioie della matematica* 532

VIII. Aerodinamica

1. *Alto e basso* 549
2. *Tunnel del vento a bassa velocità* 554
3. *Come si rende visibile la corrente d'aria* 560
4. *Tunnel a fumo costruito da un dilettante* 569
5. *Aerodinamica nel lavello di cucina* 574
6. *Aerodinamica nella vasca da bagno* 583
7. *Missilistica per dilettanti* 596

IX. Ottica, Calore ed Elettronica

1. *Microscopia dilettantistica* 615
2. *Costruzione di alcuni generatori elettrostatici* 634
3. *Apparecchiatura economica per la produzione di raggi X* 664
4. *Tubo a vortice di « Hilsch »* 683
5. *Un interferometro autocostruito* 692
6. *Costruzione di un orologio piezoelettrico* 708
7. *Qualche esperimento per un pomeriggio di festa* 729

X. Un problema per concludere

Invito al dilettante a progettare i suoi stessi esperimenti 749
E. H. Wright presenta il giuoco delle pietre saltanti 749

Indice dei nomi e degli argomenti 753

INTRODUZIONE

Un libro di questo genere, dedicato allo scienziato dilettante, costituisce senz'altro un'impresa interessante. Esso propone immediatamente il quesito in merito a cosa sia un dilettante e, per lo stesso motivo, cosa sia uno scienziato.

Una delle definizioni di dilettante configura un individuo che conduce uno studio per la sola soddisfazione di farlo. È però assai poco probabile che questa ne sia l'esatta interpretazione. La maggior parte degli scienziati professionisti trae diletto dai propri sforzi; molti di essi infatti traggono tale e tanta soddisfazione dal loro lavoro da dedicare solo un interesse secondario all'argomento della misura del compenso che essi ottengono per questi loro sforzi. Non i soli dilettanti hanno dunque il monopolio della vera soddisfazione.

Un'altra definizione spiega che un dilettante è colui che non trae un utile materiale dai suoi sforzi. Sentiamo dire che i maggiori passi nella scienza furono compiuti in Inghilterra, originariamente, da dilettanti. Questo, però, è vero solo in parte; scienziati come Priestley, Cavendish e Boyle furono uomini dotati di possibilità, che condussero esperimenti e scrissero opere di filosofia naturalistica, considerando adatte a gentiluomini tali imprese. Sterling, un sacerdote scozzese, inventò il primo motore operante a gas su di un ciclo fisso, e che funzionava veramente, ma che però non venne ulteriormente perfezionato per un secolo, e di certo egli non ottenne alcun utile da questa sua ricerca. Uno dei principali attributi di un dilettante è certo quello per cui egli compie le sue ricerche senza alcun pensiero di un utile personale. Per lo scienziato dilettante non è la necessità a creare l'occasione all'invenzione.

Sfortunatamente, è però abituale anche il considerare il dilettante come un individuo che sa ben poco su di un argomento e che crea confusioni, a differenza del professionista che dispone di un'istruzione assai vasta. Vi sono naturalmente dilettanti che conducono ricerche assai semplici ed in modo approssimativo. Dopo tutto, è necessario imparare a camminare prima di poter saltare e correre. Io stesso ripenso con molto spasso a talune delle cose che feci tempo addietro nella mia vita. Una sera, alcuni

anni fa, trascorsi molte ore interessanti in compagnia di Orville Wright: passammo tutto il tempo raccontandoci l'un l'altro le imprese alle quali avevamo lavorato ma che non avevano approdato ad alcun risultato. Egli mi condusse poi alla sua soffitta, e mi mostrò modelli di ogni genere di congegni bizzarri. Mi chiedo quanti maturi scienziati non rabbrividiscono un poco quando si trovano dinanzi a studenti che abbiano scovato le vecchie tesi da loro presentate per la laurea. Io so di essere uno di essi. Infatti, la mia vecchia tesi contiene un errore di capitale importanza che, per fortuna, né io né il collegio dei professori, scoprimmo a quell'epoca. I dilettanti in genere si accontentano della loro modestia e di concludere senza che alcuno li applaudisca, ammettendo di essere molto distanti dal punto culminante degli argomenti trattati. Ogni dilettante ha però, nel fondo della mente, nascosto con cura, il sogno che un giorno... Inoltre vi sono dei dilettanti — ed io stesso ne ho incontrati numerosi — che hanno una vera padronanza dell'argomento trattato, tale da non rimanere in seconda posizione dinanzi ad un professionista che affronti lo stesso loro campo. Fu un dilettante a scoprire Plutone e ad un dilettante si attribuì il merito principale per gli sviluppi dello studio sulla Vitamina B.

Lo scopo dello scienziato, professionista o dilettante che sia, è la gioia pura del sapere. È questo infatti uno dei principali piaceri della vita. L'uomo che apprende una cosa nuova, per quanto piccola questa possa essere, ma che non sia mai stata in precedenza conosciuta da alcun altro prima di lui nella storia intera della razza umana, si trova nella stessa posizione dell'uomo che per primo giunge alla cima di una montagna di difficile scalata e di qui spazia su di un panorama mai visto prima. Erwin Schroedinger scriveva: « L'arte e la scienza sono le sfere dell'attività umana in cui l'azione e lo scopo non sono come regola determinate dalle necessità della vita; ed anche in tali eccezionali occasioni in cui questo appunto si verifichi, l'artista creatore od il ricercatore scienziato, ben presto si scorda di questo particolare ed anzi egli deve proprio dimenticarlo se vuole che il suo lavoro possa prosperare ». Molti degli scienziati dilettanti che hanno contribuito a questo libro, hanno appunto attraversato questo genere di elevazione spirituale.

Vi sono numerosi scienziati dilettanti: forse un milione circa

nei soli Stati Uniti. In questa nazione, l'Ufficio Meteorologico fa molto affidamento su 3000 meteorologhi dilettanti, ottimamente organizzati. Altri gruppi si dedicano all'osservazione ed all'annotazione di dati sulle migrazioni degli uccelli, degli insetti e perfino delle popolazioni; sul comportamento delle stelle variabili, sulla comparsa dei bagliori solari, sulla fine repentina dei satelliti, sulle vibrazioni della terra, sul conteggio delle meteore e così via.

L'Associazione Filosofica Americana ha annotato, nella sola Filadelfia, ben 8000 persone interessate alla scienza; di queste, circa 700 hanno fornito alla scienza dei contributi d'importanza tale da meritare un riconoscimento da parte dei professionisti. Nella città vi sono 200 circoli scientifici, che dispongono di collegamenti a carattere nazionale; nessun'altra città può forse eguagliare facilmente questo record: dopo tutto fu Beniamino Franklin che dette a Filadelfia un buon inizio; nondimeno, l'attività è ora d'importanza nazionale.

Naturalmente una delle ragioni dell'attuale situazione è che, oggi, possiamo contare su di una maggiore comodità. Ciò si deve ai progressi della scienza e delle sue applicazioni che hanno reso possibile il conseguire il necessario per la vita e per alcuni conforts con una fatica assai minore. Sono passati i giorni in cui intere moltitudini di uomini lavoravano dall'alba al tramonto in modo che pochi potessero avere del tempo per pensare e per acquisire una certa cultura. Delle diecine di persone che hanno del tempo a loro disposizione, una o due si rivolgono verso studi abbastanza seri e specialmente verso la scienza. Vi è poi, aggregato, un gran numero di uomini e donne che hanno la possibilità di entrare in contatto con la scienza: l'occasione è a portata di mano.

Questo mi spinge a scrivere una parola in merito alla scienza stessa. Vi è oggi una convinzione dominante secondo cui tutta la scienza non può esser fatta progredire che da équipes numerose di ricercatori, in costosi laboratori, con l'impiego di acceleratori di particelle, di spettrometri a raggi X, di radiotelescopi e di altri costosi congegni. È diffusa inoltre l'impressione che la vera ricerca venga condotta solo da uomini che siano stati preparati a questa mansione attraverso lunghi anni di studi. Si crede pure che occorra essere un genio per creare. Vi è certo

della verità in tutto questo: è grazie alla ricerca su scala nazionale ed al contributo che deriva da un grande sforzo sul piano scientifico, che oggi stiamo compiendo grandi passi in avanti nella scienza. Ma questo non è vero sotto tutti gli aspetti. Occorre dell'impegno per la scoperta del fenomeno della trasmissione delle caratteristiche genetiche (una delle maggiori tappe scientifiche dell'ultimo decennio, più importante di quella dell'eseguire una foto della luna, troppo complessa per potersi spiegare in questa breve nota). Ma, per tale scoperta non occorsero grandi apparati a spese dei contribuenti: ciò che fu necessario, furono solamente dei recipienti di vetro, delle sostanze chimiche, delle colonie di batteri e l'ingegno. Non occorse che dell'ingegno nei radiodilettanti nei primi giorni, costretti fuori da tutti i canali radiofonici utilizzabili, per inaugurare un'intera sezione dello spettro delle radioonde. Né occorrono sempre una vastissima organizzazione e notevoli mezzi per raggiungere dei risultati utilissimi. La grande corsa verso gli studi sull'atomo e sulla fisica nucleare, verso l'esplorazione dello spazio, verso l'energia atomica, ha lasciato trascurati vasti campi che un tempo facevano parte della fisica e della chimica classiche. Nell'intero vasto campo della biologia, che non vanta una tale pressione di pubblico interesse dietro di sé, e nel labirinto delle sue strade secondarie, vi sono migliaia di problemi ancora insoluti. Molti di questi richiedono solo un'accurata e paziente osservazione e l'abilità nell'inquadrare i risultati nel mosaico della scienza biologica in evoluzione. Chi è in possesso di quest'abilità? Ebbene, potreste essere voi.

Pertanto, presento con entusiasmo questo libro. Può darsi che ve ne siano molti altri simili a questo: dall'influenza di questo testo, come dall'influenza dei molti buoni libri che stanno facendo ora la loro comparsa, può derivare la massima soddisfazione per uno scienziato dilettante. La scienza sta riplasmando il mondo: vale la pena avere una parte, anche piccola, in questa trasformazione.

VANNEVAR BUSH

PREFAZIONE

Tre sono state le idee riguardo a voi lettori, che mi hanno guidato nella scelta del materiale per questo libro. Primo, ho immaginato che voi siate soggetti ad una primordiale eredità di curiosità: che ricaviate un piacere illimitato nel cercare quello che faccia funzionare le cose sia che l'oggetto del vostro interesse sia stato modellato dalla natura sia invece dall'uomo. In secondo luogo, ho immaginato che voi siate degli inveterati « ficcanaso »: che amiate cioè frazionare le strutture organizzate, siano esse delle pietre, dei microrganismi, dei meccanismi di orologi oppure idee, e poi rimetterle insieme. In terzo luogo, ho immaginato che voi siate di solito capaci di piantare un chiodo al posto giusto ed alla prima prova o di affilare alla meglio un coltello e di manipolare un bruciatore Bunsen senza arrostirvi troppo le dita. In breve ho supposto che voi siate degli scienziati dilettanti: i progetti che figurano nel libro e la descrizione di questi sono presentati in base a queste supposizioni.

Sebbene ogni progetto sia stato collaudato ed abbia dato risultati positivi nelle mani di diversi dilettanti, voi potrete nondimeno incontrare qualche difficoltà nel riprodurre alcuni dei risultati. Questo comunque deve essere previsto: non tutti gli esperimenti sono facili da condurre. Inoltre, come viene ricordato qua e là nel testo, il lavoro sperimentale va soggetto alla legge di Murphy che sostiene che « se qualcosa può andare nel modo sbagliato, prima o poi andrà appunto nel modo sbagliato ». Non permettete che la legge di Murphy vi scoraggi. Il fatto che un esperimento dia una risposta inattesa, significa semplicemente che voi non avete effettivamente formulato una domanda nella maniera nella quale ritenete di averla impostata. Potrete trovar conforto nel sapere che difficoltà di questo genere guidano inevitabilmente alla vigorosa applicazione della regola di Goldberg: « Se non avete successo al primo tentativo, provate ad affrontare il problema da un nuovo lato ».

Un suggerimento conclusivo: dopo lunghe considerazioni, è stata presa la decisione di non impostare il presente volume come un ricettario di cucina (con le liste degli ingredienti esposte prima delle « ricette », ecc.) o come un manuale da labora-

torio. I diversi passi che si trovano in esso vi forniscono, mentre leggete, opportune nozioni relative ai punti scientifici che si vanno stabilendo. Perciò, faccio premura al dilettante che è sul punto di condurre un esperimento, di dare inizio al lavoro solo dopo che egli abbia (primo) letto con cura il capitolo nel quale viene trattato l'esperimento ed abbia (secondo) dato una scorsa anche all'intera sezione della quale il capitolo in questione fa parte. In altre parole: non costruite il vostro telescopio sino a quando non vi siate procurata almeno una dimestichezza approssimativa con tutto il contenuto della sezione sull'astronomia.

La raccomandazione di leggere con attenzione gli argomenti dell'intera sezione si applica poi in particolar modo agli esperimenti che abbiano a che fare con le radiazioni ad elevata energia; nel qual caso vanno prese delle semplici ma importanti misure di sicurezza.

Desidero ringraziare Gerard Piel, Dennis Flanagan, Donald Miller ed i loro colleghi del comitato redazionale dello « Scientific American » nel quale era stata pubblicata inizialmente molta parte del materiale, per il permesso concessomi di ripubblicarlo qui ed, in modo specialissimo, per i loro utili suggerimenti e per l'assistenza editoriale.

*Sono ugualmente obbligato verso Roger Hayward, architetto, disegnatore ottico ed artista perfetto, le cui illustrazioni completano questo volume *.*

Vorrei che fosse possibile riconoscere giustamente tutti i contributi, apportati dai generosi lettori della rivista « Scientific American »: il loro sguardo acuto e la loro mente agile hanno risparmiato ai lettori di questo libro il disagio di sfrondare gli errori che altrimenti, dagli articoli, sarebbero stati trasferiti nel volume. Senza la collaborazione dei molti sperimentatori citati nel testo, il presente libro certamente non sarebbe esistito: ad essi va quindi il massimo riconoscimento.

Un particolare cenno di ringraziamento è dovuto al Dott. Vannevar Bush che, nonostante i gravosi impegni professionali di entità nazionale, dedicò parte del suo tempo a indirizzare pa-

---

* Per l'edizione italiana i disegni di Hayward sono stati rielaborati da Romano Garrisi e Franco Scribani (*n. d. e.*).

role d'incoraggiamento a quanti si rivolgono alla scienza per diletto.

Finalmente non credo che possa capitare a molti scrittori di poter godere dell'aiuto di due donne del valore di quelle che mi hanno affiancato in questa impresa. Miss Nina Bourne, la mia redattrice presso la Simon & Schuster, è stata instancabile per ottenere che questo libro fosse come voi potevate volerlo. La sua collaborazione è stata pienamente integrata, anche se non eguagliata, da quella di mia moglie, la quale non solo dattilografò il manoscritto originale e rilesse le bozze con rigorosa cura, ma durante i lunghi mesi della preparazione dimostrò una comprensione (ed una sopportazione), per me come uomo, che qualche psicologo professionista potrebbe invidiare.

C. L. Stong

I.

ASTRONOMIA

1. *Ricreazioni astronomiche*
2. *Un semplice telescopio per dilettanti*
3. *Dispositivo a transistor per orientamento dei telescopi*
4. *Dispositivo elettronico per l'eliminazione del brillamento delle stelle*
5. *Un laboratorio di astrofisica nel cortile*
6. *Un metro cosmico dall'ombra della luce stellare*
7. *Una meridiana universale*
8. *Meridiana solare che scandisce il tempo con precisione*
9. *La luna in tre dimensioni*

1

RICREAZIONI ASTRONOMICHE

Un cenno sulle affascinanti osservazioni astronomiche e su alcuni degli interessanti strumenti che l'uomo ha progettato per superare le limitazioni del suo sguardo.

Come fece la luna ad assumere quella sua superficie così frastagliata? Perché talune delle stelle appaiono rosse ed altre azzurre? Quando esplosero fiammeggianti i fuochi celesti e cosa accadrà il giorno in cui il combustibile da cui essi sono alimentati si sarà consumato? Questi ed altri simili interrogativi hanno eccitato l'immaginazione in ogni epoca. Alla ricerca di tali risposte, l'uomo aveva guardato nella notte piena di stelle ed intravide, o credette di avere intravisto, la dimora delle sue divinità, le forze che modellano il suo destino e, più recentemente, la struttura del suo universo. Nessun'altra considerazione intellettuale lo ha assorto durante una così lunga parentesi storica od ha esercitato una più profonda influenza sul suo modo di vivere.

L'astronomia è sempre stata una delle attività preferite per i dilettanti, sin da quando essa per la prima volta fece aggrottare la fronte dell'uomo di Neanderthal. Anche il solo apprendere ad orientarsi tra le stelle può divenire un'esperienza positiva. Nel corso dei suoi immaginari viaggi notturni, il dilettante alle sue prime osservazioni può incontrare affascinanti oggetti celesti che la maggior parte dei profani difficilmente ha occasione di vedere. Con l'aiuto poi di semplici atlanti stellari, come quelli ottenibili da qualsiasi planetario od esistenti presso le biblioteche, gli è facile trovare la finestra esistente nella via lattea attraverso cui è possibile osservare un universo isolato, molto simile al nostro, scintillante della luce di 100.000 milioni di soli fiammeggianti. Ancora altri soli appaiono poi come grandi lembi di polvere scintillante della luce riflessa dalle stelle appena nate. Le costellazioni in movimento divengono presto familiari come delle guide alle nostre osservazioni celesti, mentre il nostro sole

diviene una specie di orologio che sembra governare lo spettacolo in corso. Talvolta delle comete ravvivano occasionalmente la scena, altre volte ciò è determinato dalle meteore, dalle aurore o dai satelliti artificiali. Tutti questi oggetti possono essere rilevati ad occhio nudo, che rappresenta la prima meravigliosa, sebbene sfortunatamente ristretta, via d'ingresso alle osservazioni delle stelle.

Dei miliardi di stelle che formano la nostra locale galassia, l'occhio può vederne appena duemila e può vedere una sola degli innumerevoli miliardi di galassie che ruotano attraverso lo spazio al di là della nostra via lattea. Senza aiuti esterni, l'occhio, può distinguere differenze di colore tra le stelle ma non riesce ad analizzare la loro composizione spettrale così da rilevarne il significato della luce. Anzi, delle ventidue ottave della radiazione elettromagnetica che fluiscono fino a noi con le informazioni circa gli avvenimenti nello spazio esterno, e che vanno dalle onde più lunghe della radio sino ai cortissimi raggi gamma, l'occhio è praticamente insensibile a tutto, eccezion fatta della sola ottava della radiazione luminosa.

Per superare le limitazioni dell'occhio gli astronomi si interessarono profondamente a discipline scientifiche anche non direttamente collegate alle stelle; il maggiore progresso giunse comunque con l'invenzione del telescopio. Tenendo una lente adatta in ogni mano ed osservando lungo l'asse comune, attraverso il paio di lenti, è possibile vedere oggetti distanti come se essi fossero più vicini; questo principio di ottica fu dimostrato per la prima volta nel 1608 da un costruttore di occhiali olandese, Hans Lipperschein. Il matematico scozzese James Gregory segnalò 55 anni più tardi che lo stesso effetto si sarebbe potuto ottenere per mezzo di uno specchio concavo usato in luogo di una delle lenti. Galileo Galilei basò il suo telescopio rifrattore, il primo nel mondo, sul principio delle lenti, nel 1610. Isacco Newton costruì nel 1669 il primo strumento a riflessione. Tra questi successi pionieristici e la costruzione del telescopio riflettore da 500 centimetri del Monte Palomar sono venute tutte le monumentali realizzazioni della moderna astronomia, molte delle quali ispirate dal semplice desiderio dell'uomo di aumentare la potenza del suo sguardo. Quello di perfezionare i mezzi per raccogliere, deviare, registrare ed analizzare i deboli raggi della luce delle

stelle, è stato l'obbiettivo di alcuni dei principali fisici, chimici e dei costruttori di strumenti degli ultimi 400 anni.

In conseguenza di ciò, l'astronomia è diventata al tempo stesso una scienza sperimentale come una scienza speculativa, una specie di astrologia che, tutt'ora, attrae la maggior parte degli entusiasti dilettanti.

Molti dilettanti concordano sul fatto che i problemi che si presentano nel corso della costruzione del telescopio sono altrettanto affascinanti come quelli che lo strumento stesso, una volta realizzato, aiuta ad esplorare. Quattro dei nove progetti e problemi che compongono questa sezione prevedono la discussione della costruzione e l'uso di tali strumenti. Ai dilettanti cui piace un tocco di varietà ai loro esperimenti, questi progetti offrono interessanti esplorazioni attraverso i confini di molte discipline scientifiche, tra cui le ottiche, la meccanica, l'elettrotecnica, la chimica e la fisica allo stato solido. Nelle discussioni conclusive si descrivono poi strumenti atti a dimostrare il valore dell'astronomia nelle situazioni quotidiane. Tutti i progetti sono alla portata di un'attrezzatura media di laboratorio meccanico e comportano spese accettabili a chiunque abbia medie possibilità. Quanti vorrebbero dedicare la loro attività all'osservazione delle stelle, non avrebbero migliore punto di partenza di quello della costruzione del piccolo telescopio descritto più avanti.

2

UN SEMPLICE TELESCOPIO PER DILETTANTI

Per quanto il suo progetto non miri alla perfezione ottica, questo strumento, più potente di quello di Galileo, è in grado di mostrare fenomeni come quelli degli anelli di Saturno, delle montagne lunari e dei satelliti di Giove. Il costo totale della sua realizzazione non supera le 12-15 mila lire.

Nel 1926 apparve nella rivista *Scientific American* un articolo che descriveva come un gruppo di dilettanti a Springfield, nel Vermont, aveva assunto la padronanza della difficile arte della costruzione di un telescopio astronomico; i dettagli della costruzione erano stati studiati da Russel W. Porter, tecnico ed esploratore, e furono poi descritti in collaborazione con Albert G. Ingalls, editore dello stesso *Scientific American.* Nello spazio di un anno, circa 500 persone, che affrontavano per la prima volta imprese di questo genere, completarono telescopi simili ed erano certamente sulla strada per diventare altrettanti astronomi dilettanti.

Io stesso ero uno di loro, come molti di essi anch'io avevo voluto vedere ravvicinati degli oggetti astronomici, ma non avrei potuto affrontare la spesa di un telescopio già pronto, di adatta potenza, né vi era tra le mie conoscenze qualche persona che già ne possedesse uno. La descrizione del telescopio di Springfield risolse il mio problema. Immediatamente mi accinsi a realizzare uno strumento da 15 centimetri di diametro ed avevo appena iniziato ad usarlo, quando molti dei miei vicini cominciarono essi stessi la costruzione di telescopi analoghi.

Non si trattava di uno strumento ottimo rispetto alle caratteristiche desiderate dai dilettanti attuali, ma mi permetteva l'osservazione delle caratteristiche di Giove e delle calotte polari di Marte. Il fatto che la luce dispersa nello strumento dava

al campo visivo un fondo luminoso bluastro che tendeva a eliminare il contrasto disponibile, ed il fatto che le stelle presentavano delle piccole curiose code, non toglieva molto al piacere dell'osservazione con lo strumento. Era come se io avessi saputo che quello era il normale aspetto del cielo, quando esso veniva osservato attraverso il telescopio! Negli anni successivi costruii ed usai strumenti via via migliori e una volta ebbi anche l'occasione di osservare attraverso l'oculare del telescopio riflettore da 150 centimetri del Monte Wilson. Da allora però l'osservazione è stata per me quasi una routine abituale. Perfino l'esperienza fatta al Monte Wilson non mi dette la stessa gioia che mi era venuta dalla prima occhiata attraverso il mio rudimentale strumento da 15 cm.

A mio parere, il principiante non dovrebbe tentare come prima esperienza quella della costruzione di un telescopio di alte qualità ottiche. Troppi infatti sono coloro che si scoraggiano ed abbandonano il progetto a metà strada. La corretta applicazione delle prove ottiche e le tecniche della formatura, attraverso le quali la superficie dello specchio principale viene portata alla perfezione ottica, sono un'arte raffinata che solo pochi possono apprendere alla perfezione. Io stesso ho realizzato più di 50 specchi e, sino ad ora, non sono riuscito a molare un vetro con profilo perfetto lungo i bordi. Per tutti, eccettuati i più qualificati ottici, le prove e le tecniche non possono essere esatte. Dopo aver male interpretato le indicazioni fornite dalle prove ottiche ed avere applicato erroneamente le tecniche di formatura per diversi mesi, il principiante è tentato di rinunziare al progetto come inattuabile e magari gettar via uno specchio che avrebbe potuto comunque funzionare ottimamente se messo in funzione. Al contrario, false indicazioni ottenute dalle prove ottiche hanno notoriamente confuso perfino dei dilettanti molto esperti portandoli a realizzare degli specchi imperfetti, pur sotto l'orgogliosa illusione che ciascuno di essi fosse ottimo. Se comunque tali specchi funzionano in maniera soddisfacente, lo si deve alla meravigliosa capacità di accomodamento che il nostro occhio presenta ed alla mancanza di capacità di valutazione di errore da parte dell'osservatore.

Il principiante può, tuttavia, affrontare la costruzione di un telescopio a riflessione con ogni aspettativa di successo finale. Se

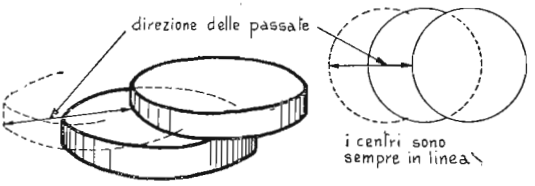
egli dispone al tempo stesso di una sufficiente forza muscolare e di una abilità nella operazione meccanica di lavorare assieme due blocchi di vetro, il suo sforzo sarà compensato da uno strumento assai superiore a quello usato da Galileo. Egli non deve, comunque, preoccuparsi molto con le prove ottiche e con le trascendentali tecniche di formatura.

Il più semplice telescopio a riflessione si compone di quattro sottogruppi principali: *a*) uno specchio obbiettivo, concavo, che raccoglie la luce e la riflette in un punto focale; *b*) uno specchio diagonale piano, che devia i raggi focalizzati del primo specchio ad angolo retto in modo che l'immagine possa essere osservata lateralmente senza creare un ostacolo alla luce in arrivo; *c*) una lente d'ingrandimento od un oculare complesso, attraverso il quale l'immagine viene osservata; *d*) un'intelaiatura o struttura mobile che sostiene gli elementi ottici nella posizione necessaria e che li mantiene puntati verso il cielo. Metà circa del costo del telescopio finito, sia in danaro che in fatica, è rappresentata dallo specchio concavo che serve da obbiettivo.

La struttura portante può essere fatta praticamente con qualsiasi combinazione di materiali che capitano a portata di mano: legno, tubo, profilato, lastre metalliche, parti ricuperate da macchine, motori e così via, a seconda delle disponibilità e della fantasia del costruttore. La struttura progettata da Roger Haiwart, illustrata nella fig. 6, è molto indicativa. Le dimensioni possono essere variate in funzione delle esigenze di costruzione.

A volte, i materiali per l'obbiettivo e lo specchio diagonale possono acquistarsi presso gli ottici e anche presso le ditte nazionali che vendono telescopi economici già costruiti ed inseriscono le loro pubblicità sulle più comuni riviste di tecnica divulgativa. I dilettanti che hanno possibilità di usare macchine utensili possono anche realizzare da soli gli oculari. Tale costruzione è però piuttosto lenta ed il costo degli oculari già pronti è, in generale, così basso che pochi sono i dilettanti che affrontano il lavoro della loro realizzazione.

Si raccomanda al principiante di iniziare con uno specchio da 15 cm. Specchi di dimensioni inferiori, infatti, non funzionano bene, a meno che non siano lavorati con grande abilità; d'altra parte la difficoltà di lavorare e di manipolare degli specchi più grandi aumenta in maniera non proporzionale con l'au-



1. Dettagli dei movimenti del contropezzo, durante la molatura dello specchio obbiettivo per il telescopio.

mento delle dimensioni. La serie di pezzi di sbozzi ottici per la realizzazione di specchi da 15 centimetri costa circa da 6 a 10 mila lire. Nella serie sono inclusi 2 grossi sbozzi di vetro ottico, di cui uno serve per la realizzazione dello specchio obbiettivo vero e proprio e l'altro, chiamato l' « utensile », serve da appoggio al contropezzo e su di esso lo specchio in lavorazione viene in effetti molato. Nella serie sopra citata è incluso anche un piccolo rettangolo di vetro ottico piano che serve per lo specchio diagonale, o una serie di piccoli quantitativi di polveri abrasive, di grana decrescente sino alla più fine, ed addirittura un certo quantitativo di ossido rosso di ferro per la lucidatura finale, nonché un quantitativo di pece.

Come Russel Porter spiegava già nel 1926, « in un telescopio a riflessione, *lo specchio è la cosa più importante.* Quantunque elaborato e preciso possa essere il resto dello strumento, se in questo è installato uno specchio imperfetto, l'intero insieme è senza speranza di funzionamento ». Fortunatamente però è quasi impossibile realizzare uno specchio veramente imperfetto, se si seguono con sufficiente attenzione poche semplici istruzioni. Il concetto principale è quello di molare una faccia dello sbozzo dello specchio da 15 centimetri sino ad ottenere una curvatura con circa 1,5 millimetri di profondità, poi lucidare questa sino a portarla ad una superficie concava sferica, e quindi, continuando nella lucidatura nella zona centrale, aumentare la profondità in tale zona sino a trasformare la curvatura sferica in quella di un paraboloide. La curvatura sferica viene prodotta passando lo sbozzo per lo specchio sopra lo sbozzo che serve da contropezzo, dopo avere inserito tra le due superfici dell'abrasivo umido a grana grossa, e quindi molando semplicemente lo specchio sul-

l'utensile con dei movimenti diritti davanti e indietro. La natura aiuta nell'ottenimento della desiderata curvatura sferica, in quanto il vetro viene corroso più rapidamente in quei punti dove è massima la pressione esistente tra i due dischi. Durante un tratto, ad ogni passata, lo specchio passa sopra l'utensile; la massima pressione si manifesta quindi nella porzione centrale dello specchio, dove esso viene sostenuto dal bordo dell'utensile. Per questo accade che la zona centrale dello specchio e la zona periferica dell'utensile si corrodono più rapidamente e lo specchio diviene concavo mentre l'utensile diviene convesso. Man mano che la molatura progredisce, colui che sta eseguendo il lavoro ruota l'utensile di tanto in tanto di una porzione di giro ogni volta, sempre in una direzione, mentre ruota lo specchio nella direzione opposta. In conseguenza di ciò, la concavità che prima sarebbe cilindrica, assume via via la forma approssimata di una sfera come è possibile intuire se si considera il sommarsi dei profili cilindrici che si producono sulla superficie del vetro da tutte le direzioni diametrali. Ogni volta che, per qualche motivo, il profilo del pezzo in lavorazione tende ad allontanarsi da quello della forma sferica, viene corretto immediatamente e in maniera automatica, poiché nel punto in cui tale difetto esiste, si determina una pressione anormale che, come spiegato più sopra, dà luogo ad una più rapida corrosione della zona ben localizzata.

Le operazioni di molatura possono essere condotte in qualsiasi ambiente conveniente, purché esente da polveri e specialmente da quelle della strada, ed abbia disponibilità di una presa di acqua per le necessarie pulizie dato che nel corso dell'operazione ha luogo la produzione di alquanta fanghiglia; è più pratico utilizzare per tale lavoro un ripostiglio od una cantina, piuttosto che una cucina od altro ambiente domestico.

Occorre realizzare per primo il supporto per l'utensile; esso può consistere di un disco di legno di circa 12 o 15 millimetri di spessore, fissato mediante viti al centro di un cubo di legno di cerca 30 centimetri di lato. Il diametro del disco di legno dovrebbe essere minore di una dozzina di millimetri circa, rispetto a quello dell'utensile. È bene poi applicare a tutte le superfici di questo complesso, eccettuata la faccia superiore del disco di legno, due mani di gomma lacca o di altra vernice trasparente protettiva. Il vetro viene poi ancorato, centrato, alla super-

ficie del legno lasciato senza lacca, per mezzo di pece. Si fonde un piccolo quantitativo di questa sostanza in un recipiente adatto, si riscalda quindi il contropezzo di vetro immergendolo in acqua molto calda, dopo di che lo si asciuga e su una delle sue superfici si passa leggermente un batuffolo di cotone intriso di essenza di trementina. A questo punto, si versa nella zona centrale della superficie di legno non verniciata, una cucchiaiata di pece fusa e, subito dopo, si preme sulla superficie stessa il contropezzo di vetro sino a quando la pece tende a sfuggire tutt'intorno dal bordo inferiore di quest'ultima. Lasciato l'insieme per il tempo necessario a raffreddarsi completamente, si ha a disposizione un gruppo che può essere comodamente tolto dal banco di lavoro per le operazioni di pulitura che, nel corso della lavorazione ottica, sono spesso necessarie. Taluni preferiscono fissare il disco di legno ad una base circolare di maggiori dimensioni. Tale base viene assicurata al banco di lavoro fra tre blocchetti di legno equidistanti, spaziati uno dall'altro di un angolo di 120 gradi rispetto al centro nello spazio da essi delimitato. Questa disposizione permette di ruotare a seconda delle necessità la base su cui viene montato il contropezzo.

Il complesso ora descritto viene poi fissato all'angolo di un robusto tavolo o di altro conveniente piano di lavoro. Una cucchiaiata del più grossolano degli abrasivi disponibili si distribuisce uniformemente su tutta la superficie del contropezzo di vetro ed anzi, per la distribuzione degli abrasivi un utile accessorio è rappresentato da uno spargisale. In genere l'inizio della lavorazione si fa con l'abrasivo di carborundum del numero 80, i cui frammenti hanno circa la dimensione di quelli dei cristalli di zucchero granulato. Nella zona centrale del contropezzo di vetro, si versa poi una cucchiaiata di acqua e, sul contropezzo stesso, si cala, con movimento graduale e perfettamente verticale, l'altro sbozzo di vetro, ossia quello destinato a divenire lo specchio del telescopio. Quest'ultimo viene dunque afferrato lungo i bordi con entrambe le mani; la pressione viene esercitata dalle palme delle mani stesse. In particolare, il movimento viene imposto ad esso con la base dei pollici, nel suo spostamento in avanti, e con l'indice ed il medio per il suo spostamento all'indietro. La lunghezza dei movimenti alternativi per la molatura dev'essere di circa metà del diametro dello specchio, ossia nel caso di

uno specchio da 150 millimetri, i movimenti dovrebbero essere di circa 75 millimetri, vale a dire facendo sporgere ad ogni passata in avanti ed indietro, per circa 38-40 millimetri, il disco di vetro in lavorazione rispetto al sottostante contropezzo fisso di vetro. I movimenti alternativi per la molatura devono essere uniformi e lineari facendo in modo, salvo eccezioni, che il centro del disco superiore passi, con ogni movimento, al disopra del centro di quello inferiore. Al tempo stesso si fa compiere al disco una piccola porzione di rotazione ad ogni passata, in maniera che un'intera rotazione del disco rispetto al suo asse sia compiuta in 30 passate. Al contropezzo deve essere imposta, invece, una leggera rotazione in direzione opposta a quella fatta compiere al vetro dello specchio, ogni 10 o 12 passate, oppure, se chi sta eseguendo l'operazione lo preferisce, può semplicemente spostarsi attorno al contropezzo, tenendo in mano il vetro dello specchio e facendo compire a questo i normali movimenti alternativi; per compiere questa operazione però, occorre che il contropezzo sia montato su una base molto stretta, in maniera appunto che la persona che sta lavorando possa girarvi attorno come necessario. Occorre anche apprendere a valutare la lunghezza delle passate: non conviene infatti limitare queste, mediante blocchetti di arresto di fine corsa. Può infatti accadere, specialmente alle prime esperienze, che le passate siano troppo corte o troppo lunghe rispetto a quella descritta; comunque anche dei piccoli errori in tale senso, possono rientrare nella media.

Quando l'abrasivo carborundum è ancora nuovo, aggredisce con molta efficienza e la sua azione è accompagnata da un caratteristico rumore di ghiaia spostata. Quando si fanno compiere al vetro dello specchio le prime passate sull'abrasivo, si ha quasi la sensazione che lo scorrimento della superficie sia aiutato da una specie di lubrificazione, tanto è uniforme. Dopo alcuni minuti di lavorazione, comunque, il rumore di ghiaia tende ad affievolirsi, mentre chi compie l'operazione ha la sensazione di incontrare nelle passate una resistenza gommosa. A questo punto conviene interrompere l'operazione, aggiungere una cucchiaiata di acqua al centro dei vetri e ricominciare la molatura sino a quando la resistenza opposta dal materiale durante le passate torna ad essere gommosa. In queste condizioni occorre togliere dal banco di lavoro, specchio e contropezzo, allo scopo di la-

varli per liberarli dalla « fanghiglia », ossia dalla miscela di vetro ed abrasivo polverizzati che si svolgono dall'operazione della molatura. Con ciò può considerarsi conclusa la prima fase della lavorazione. Si applica del nuovo carborundum tra i due vetri e si ripete questa operazione una terza, una quarta ed una quinta volta; si riduce poi la lunghezza delle passate ad un terzo del diametro dello specchio, vale a dire nel nostro caso a 5 centimetri e per altre due volte si ripete l'applicazione di abrasivo nuovo, dopo avere asportato quello vecchio mediante lavaggio a fondo. Lo specchio dovrebbe ora presentare una superficie uniformemente molata a partire dalla zona periferica del disco in ogni direzione: se ciò non si è verificato si tratta di continuare la molatura fino ad ottenere questa condizione.

Nota: quanti sono alle prime esperienze riferiscono che spesso la curvatura che si attende dallo specchio rifiuta di manifestarsi e che entrambe le superfici dei vetri rimangono sostanzialmente piane e si limitano solo a consumarsi in modo uniforme. Questo può verificarsi specialmente nel caso che non sia esercitata una pressione uniforme su tutta la superficie dello specchio. Appare evidente che potrà essere necessaria una certa serie di esperimenti, fino a riuscire ad apprendere quale possa essere la passata più conveniente. Un espediente provvisorio, per correggere il difetto sopracitato dello specchio, può essere quello di spostare lo specchio lateralmente a destra e a sinistra durante le passate, facendogli cioè compiere un movimento a zig-zag: in tali condizioni la concavità nello specchio non tarderà a manifestarsi. Attenzione, comunque: si eviti di insistere in questa soluzione. La superficie molata dello specchio, presenterà a questo punto una concavità appena marcata della quale sarà conveniente eseguire subito la prova per accettarne la lunghezza focale. Ciò si ottiene facilmente, specie in un giorno di sole: la disposizione per la prova consiste di un riquadro di cartoncino molto chiaro delle dimensioni di 30 centimetri di diametro che serve come schermo e sul quale, quindi, si fa proiettare l'immagine del sole prodotta dallo specchio; occorre anche un certo quantitativo di acqua con cui inumidire leggermente la superficie irregolare molata dello specchio e quindi migliorarne la sua capacità di riflessione: non conviene infatti prima di qualsiasi prova effettuare la lucidatura dello specchio stesso, in quanto ciò comporterebbe

un enorme allungamento dell'intera operazione. Poi occorre dunque disporre il cartoncino, di taglio, all'altezza di circa 180 centimetri, in posizione tale per cui una delle sue facce sia rivolta perpendicolarmente verso il sole; si assume quindi una posizione dalla parte in ombra del quadrato di cartone alla distanza di circa 3 metri da questo; si immerge lo specchio nell'acqua ed immediatamente dopo se ne rivolge la superficie molata in direzione del sole facendo in modo che i raggi di questo cadano sullo schermo di cartoncino. L'immagine del sole a questo punto apparirà come un disco di luce non ben definito, certamente alquanto più piccola del diametro dello specchio. In più la dimensione di tale immagine dovrà variare a misura che lo specchio sia allontanato od avvicinato allo schermo. Si tratta di cercare quale sia la distanza dello specchio dallo schermo alla quale l'immagine su quest'ultimo dia di minimo diametro, distanza che darà immediata indicazione della lunghezza focale dello specchio in tali condizioni. In questa fase della molatura la lunghezza focale dello specchio dovrebbe essere di circa 450 centimetri. Si tratterà allora di ridurre tale lunghezza a 180 centimetri aumentando la curvatura della concavità con un'ulteriore molatura della stessa. Si provvede dunque a lavare a fondo il contropezzo, applicare su questo del nuovo abrasivo e quindi molare per 5 minuti, dopo di che si ripete la prova; è molto conveniente annotare i vari periodi di lavorazione e le varie condizioni in cui questi sono stati attuati, annotando accanto a ciascuno di essi la lunghezza focale registrata dopo ogni fase. Una volta che sia stata raggiunta la lunghezza focale voluta, si lava a fondo lo specchio, il contropezzo ed il banco su tutte le loro superfici, e tutti gli altri oggetti che possono giungere a contatto con l'abrasivo nel numero 80. Si continua l'operazione della molatura con abrasivi di grana via via più fine applicando lo stesso sistema, adottando anche le solite passate, di 50 millimetri di lunghezza con uno spostamento tale per cui il centro del disco dello specchio fa ogni volta una sosta sul centro del disco del contropezzo. Di norma, per la seconda parte della lavorazione, si adotta l'abrasivo numero 180 la cui grana è comparabile a quella di una sabbia sottile. La tecnica per la molatura è identica anche per le successive gradazioni di abrasivo; ogni fase di essa viene protratta fino a quando tutte le incisioi più profonde,

lasciate sul vetro dalla grana precedente, siano state asportate. Di norma per ogni gradazione di abrasivo occorre rinnovarne 6 volte il quantitativo tra i due vetri, facendo durare il trattamento ad ogni rinnovo, per circa 15 minuti di molatura. Dopo la sesta applicazione di abrasivo nuovo, occorre esaminare la superficie molata per mezzo di una buona lente d'ingrandimento. Se da tale osservazione appare la presenza di incisioni più profonde di quelle medie lasciate dall'abrasivo appena usato, occorre continuare la molatura rinnovando un'altra od altre due volte l'abrasivo stesso prima di controllare di nuovo. Si tratta dunque di insistere nella molatura sino a quando non siano scomparse dalla superficie tutte le incisioni più profonde di quelle medie. Vi è comunque un'eccezione a questa prassi; talvolta qualche granulo disperso dell'abrasivo più grosso capita in mezzo a quello più sottile e lascia quindi delle tracce molto più profonde di esso; tali difetti non possono essere eliminati con il semplice proseguimento dell'operazione della molatura e poi della lucidatura: la sola soluzione in tal caso è quella di ritornare ad usare l'abrasivo che si ritiene colpevole dell'incidente e ripetere tutte le altre fasi successive; conviene tra l'altro operare la molatura a mani libere, evitando di proteggere queste con guanti, in quanto questi ultimi tendono a fissare granuli di polveri più grossolani ed a restituirli più tardi mentre si opera con le polveri più fini, contaminando quest'ultime. Per lo stesso motivo occorre anche acquistare gli abrasivi presso ditte molto serie, per aver la certezza che le grane più sottili non contengano assolutamente alcun corpuscolo di quelle più grosse; la serie degli abrasivi più convenienti per la lavorazione ottica di una lente o di uno specchio come nel nostro caso è la seguente: numero 80, 180, 220, 280, 400, 600 FFF ed infine rosso inglese.

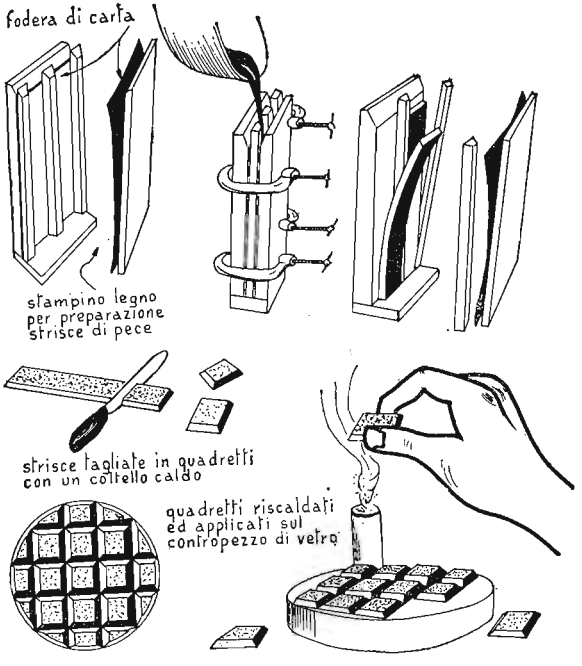
A chi sia agli inizi si raccomanda di acquistare un altro sbozzo in più di vetro allo scopo di lavorare al tempo stesso o quasi contemporaneamente due specchi, scegliendone poi uno per l'uso immediato e riservando il secondo per l'ulteriore lavorazione e perfezionamento. Coloro che seguiranno, comunque, questo suggerimento, dovranno molare gli specchi alternativamente, completando una sottofase di trattamento con un determinato abrasivo sul primo specchio e quindi ripetendo lo stesso trattamento sul secondo. Una volta che tutte le operazioni di molatura sa-

ranno state concluse su entrambi, gli specchi potranno essere lucidati separatamente.

Le operazioni di molatura e della successiva lucidatura del vetro sono molto simili; infatti entrambe si basano sull'impiego di materiale di durezza maggiore di quella del vetro. Nella molatura, il materiale abrasivo viene usato inserito tra una coppia di superfici dure e, nel nostro caso, tra i due dischi di vetro, oppure un disco di vetro ed uno di ferro. Nel rotolare tra le due superfici sotto la pressione, le particelle di abrasivo aggrediscono il vetro determinandovi sulla superficie delle piccole fratture a forma concoidale. Il vetro può essere lucidato con le stesse particelle di grande durezza, sostituendo soltanto il contropezzo duro con un utensile opportunamente tenero e cedevole. La teoria del meccanismo di azione della lucidatura non è stata ancora ben chiarita: è comunque evidente che le particelle di abrasivo, in quest'ultimo caso non rotolano come facevano in precedenza: trattenute solidamente da un mezzo cedevole mantengono le loro sporgenze in posizione tale per cui possano operare sulla superficie del vetro come lame di una pialla.

Per lucidare, la maggior parte dei dilettanti impiega un utensile, ossia una specie di mosaico di pece di pino divisa in un disegno a quadretti e caricata con rosso inglese. Per realizzare questi quadretti, occorre per prima cosa colare la pece in forma di strisce nella larghezza di 25 e dello spessore di 6 millimetri, lunghe 250 millimetri. Uno stampo conveniente per la colata delle strisce è quello illustrato nella fig. 2 (occorre foderarne internamente le pareti con carta umida allo scopo di impedire che le strisce si possano attaccare al legno; occorre fondere la pece su di un fornello elettrico a piastra od anche su di un bagno di sabbia, non al di sopra di una fiamma diretta: occorre anche non surriscaldare la pece in quanto essa prende facilmente fuoco. I vapori prodotti, composti principalmente di trementina, sono essi pure altamente infiammabili, per cui occorre evitare assolutamente di permettere alla fiamma diretta di raggiungere la parte aperta del contenitore.

Le strisce di pece, una volta raffreddate, vengono tagliate in quadretti per mezzo di un coltello mantenuto caldo e quindi disposte sulla superficie molata del contropezzo in una forma simile a quella di una scacchiera come illustrato nella fig. 2, in



2. Preparazione dei quadretti di pece, per l'utensile a lucidare.

basso. Si comincia poi la sistemazione dei quadretti, piazzandone uno leggermente fuori centro rispetto al contropezzo, e partendo da questo si opera in direzione del margine esterno del contropezzo applicando via via altri quadretti. L'adesione dei quadretti sul vetro è, per prima cosa, facilitata dal riscaldamento del contropezzo e dall'applicazione sulla sua superficie di essenza di trementina e anche dal riscaldamento della superficie di ciascun quadretto di pece. Prima di metterli definitivamente in posizione sul vetro, è utile che gli spigoli di ciascuno dei quadretti siano leggermente inclinati, il che sarebbe facile ottenere in serie, nella fase del taglio dei quadretti stessi, mantenendo inclinato il coltello caldo usato per l'operazione. La pece è un materiale che cede sotto la pressione per cui, a meno che non sia stata prevista la smussatura degli spigoli delle faccette, lo spazio esistente tra i vari quadretti adiacenti ben presto viene

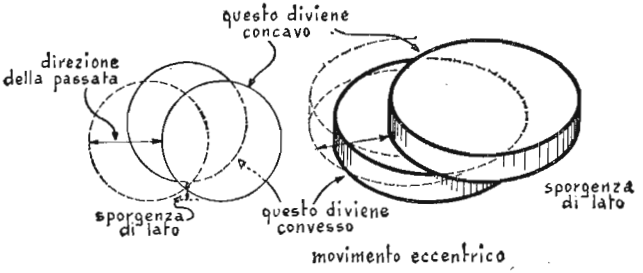
chiuso durante l'operazione della lucidatura e non può così contenere il necessario quantitativo di rosso inglese. I quadretti che sporgono oltre il margine del contropezzo vanno rifilati con un coltello caldo in modo che il margine del mosaico corrisponda al margine stesso del vetro. Quindi si inserisce, capovolto in un recipiente d'acqua calda l'intero complesso, per la durata di circa 10 minuti. Mentre la pece si sta scaldando, si introduce in un recipiente a bocca larga ben pulito, munito di un coperchio a vite, una grossa cucchiaiata di rosso inglese a cui si aggiunge acqua in quantità sufficiente per dar luogo ad una miscela cremosa. Si estrae il contropezzo per la lucidatura dal recipiente dov'era stato riscaldato, lo si asciuga con un panno pulitissimo morbido e, con un pennellino da 5 o 6 millimetri del tipo usato per acquerelli, si applica su tutte le superfici dei quadretti il rosso inglese. Si cala quindi con attenzione lo specchio sul contropezzo ed, al di sopra di questo, si applica un peso di circa 2 chilogrammi ugualmente distribuito al di sopra dello specchio per la durata di mezz'ora circa, fino a quando cioè le superfici dei quadretti abbiano ceduto abbastanza da seguire la curvatura del vetro che vi è stato sovrapposto. Tale procedimento è detto di formatura a freddo; al termine di tale intervallo, occorre far correre lateralmente lo specchio per toglierlo dal contropezzo e passare nuovamente il coltello caldo sulle linee di unione tra i vari quadretti per marcarne la smussatura, dove questa sia stata eliminata dallo scorrimento del materiale.

A questo punto lo specchio deve essere munito di uno schermo, allo scopo di isolarlo dal calore delle mani della persona che sta eseguendo l'operazione. Nel caso di uno specchio di 15 centimetri si tratta di tagliare un disco di cartone ondulato doppio da 20 centimetri di diametro ed eseguire, lungo il margine, spaziati di 25 millimetri uno dall'altro, dei tagli, in direzione del centro del disco, della profondità di 25 millimetri ciascuno. Si tratta quindi di centrare il cartoncino così preparato sulla superficie non molata dello specchio, ossia su quella superiore, quindi di premere le alette sporgenti, lungo il bordo del vetro, per farle calare attorno allo spessore di esso e quindi ancorarle in tale posizione con l'aiuto di qualche giro di nastro autodesivo. In tali condizioni questa forma di cartoncino assomiglierà ad un coperchio di un recipiente a bocca larga.

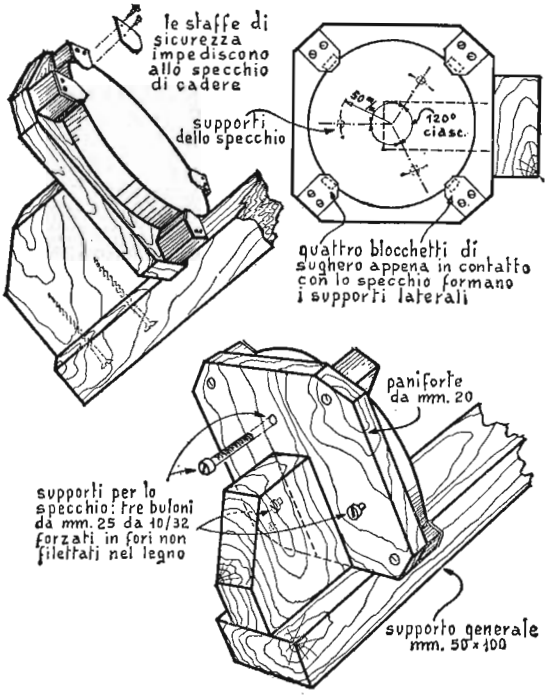
Si rinnova ora l'applicazione di altro rosso inglese sui quadretti di pece ed al centro del contropezzo per la molatura si applica mezza cucchiaiata di acqua; poi si afferra il disco di vetro dello specchio con la sua forma di cartone e lo si fa scendere con uniformità, precisione e perfettamente centrato, sul disco del contropezzo. L'operazione della lucidatura viene condotta con passate identiche a quelle adottate per la molatura, ossia della lunghezza di 50 millimetri e con l'asse centrale del disco dello specchio fatto passare sul centro del contropezzo. Quando la prosecuzione del lavoro avviene solo con sforzo notevole, occorre aggiungere un'altra mezza cucchiaiata di acqua e ripetere. Si continua la lucidatura per circa 20 minuti, dopo si ripete l'operazione della formatura a freddo della pece per altri 10; si riprende poi nuovamente l'operazione della lucidatura ed alternativamente quella della formatura sino a quando nessuna incisione si possa più rilevare sulla superficie del vetro. Questo viene osservato attraverso una lente d'ingrandimento di notevole potenza. Ove le ultime fasi della molatura saranno state condotte nella maniera prescritta, lo specchio potrà ricevere la lucidatura finale in un tempo di 3 ore ed anche meno. Quando è necessario interrompere per qualche ora il lavoro, conviene coprire il contropezzo di pece per la lucidatura con rosso inglese e quindi pressare a freddo quest'ultimo sullo specchio lavorato, senza però aggiungere altri pesi come era stato invece fatto in precedenza. Quando esso viene lasciato sull'utensile di pece per diverse ore è conveniente realizzare delle staffe per sostenere lo specchio, specialmente attorno ai suoi bordi, poiché la pece è una sostanza che, seppur rigida, scorre facilmente e può consentire dopo qualche tempo addirittura l'appoggio dello specchio sul fondo o sul pavimento.

A questo punto il profilo dello specchio sarà molto vicino a quello di una sfera perfetta. La zona centrale di questo però avrà certamente un raggio di curvatura alquanto più grande di quello della zona vicino ai margini. Nel nostro caso, però, si desidera la situazione esattamente opposta, vale a dire quella di un raggio di curvatura che aumenta dal centro verso i margini dello specchio. Si tratterà pertanto di asportare dei piccoli spessori di vetro dalla zona centrale dello specchio e fare in modo che dei quantitativi relativamente inferiori di materiale siano

invece asportati dalla zona vicino ai bordi. Lo specchio viene dunque rimesso sull'utensile di pece e, dopo avere caricato quest'ultimo con del nuovo rosso inglese, si provvede alla lucidatura dello specchio con una tecnica alquanto diversa dalla precedente. Non viene alterata la lunghezza dei movimenti alternativi ma lo specchio viene questa volta messo in condizione di seguire un percorso a zig-zag lateralmente sull'utensile di pece e angoli retti rispetto alla persona che sta eseguendo il lavoro. Nella prima passata, quando cioè il movimento è quello che tende ad allontanare lo specchio dall'operatore, si segue il percorso convenzionale lineare in cui il centro dello specchio viene fatto passare al disopra del centro del contropezzo di pece; nel percorso di ritorno però, anche nelle passate successive, lo specchio viene fatto muovere a zig-zag verso destra sino a quando esso sporge rispetto al contropezzo di pece di circa 25 millimetri. Esso viene poi riportato indietro facendolo passare col suo centro sul centro del suo contropezzo sino a quando sporge dal bordo esterno del contropezzo di pece per un tratto di altri 25 millimetri. Questa operazione viene ripetuta continuamente per circa 15 minuti. Al tempo stesso, lo specchio viene ruotato leggermente in una direzione durante ogni passaggio, mentre l'utensile di pece viene ruotato nella direzione opposta per fare in modo che l'azione dell'abrasivo si attui uniformemente. Dopo un'accurata pulitura dello specchio, questo sarà pronto per il trattamento di argentatura. I dilettanti delle epoche precedenti provvedevano da soli all'argentatura dei loro specchi mediante tecniche casalinghe; purtroppo, l'argento è difficile da applicare ed inoltre tende ad annerire rapidamente. Nella maggior parte dei telescopi a riflessione attualmente in circolazione, gli specchi sono alluminati, ossia hanno subito un procedimento purtroppo complesso per essere affrontato dai principianti. Lo specchio viene disposto in una camera dove viene realizzato un vuoto molto spinto e quindi viene bombardato con l'alluminio allo stato di vapore; nella successiva esposizione dello strato di alluminio all'aria, quest'ultimo riceve una ossidazione superficiale leggerissima tale da produrre un velo sia pur trasparente di ossido che tende a proteggere il sottostante strato d'alluminio dall'ossidazione ulteriore. Molte delle più grandi case di materiale ottico sono attrezzate per la illuminiatura dei vetri e degli specchi, ma adesso, anche molti

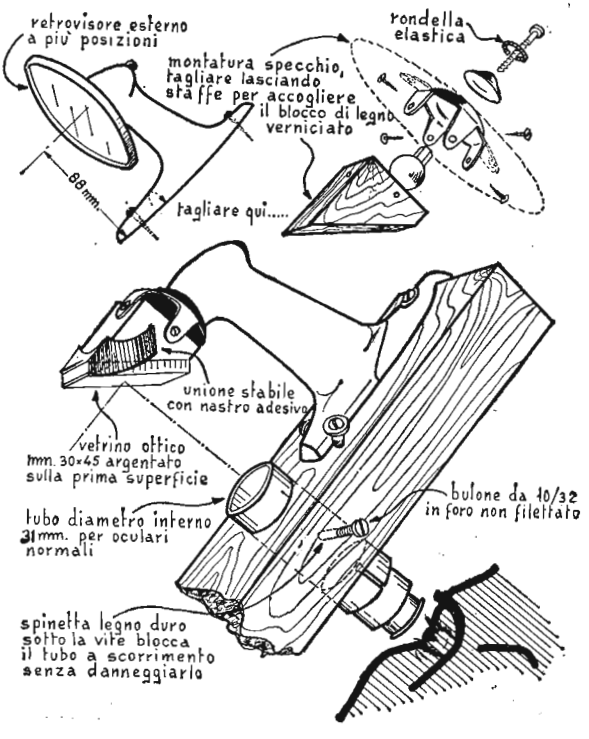


3. Dettagli del movimento del contropezzo quando si tratta di impartire il profilo parabolico allo specchio obbiettivo.

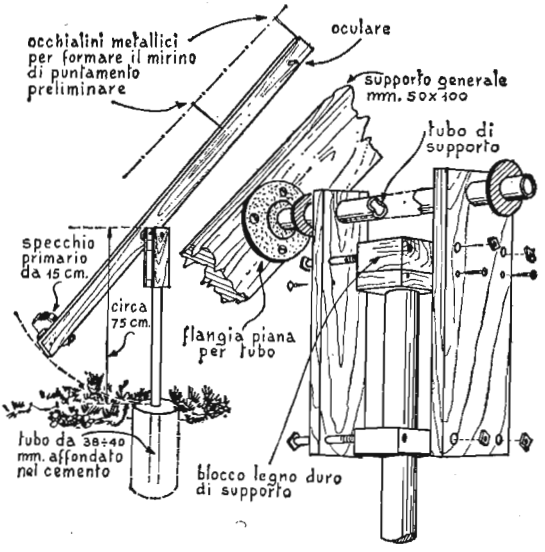


4. Dettagli del gruppo di supporto, in legno, per lo specchio obbiettivo.

ottici, specie nelle maggiori città, dispongono di una analoga attrezzatura; in generale il costo del trattamento di alluminiatura di uno specchio del diametro di 15 centimetri è di circa tremila lire. Non è difficile raggiungere ottici o ditte in grado di fare l'applicazione dell'alluminio, in quanto sia questi come le seconde reclamizzano questa loro attività attraverso le riviste di tecnologia e di divulgazione scientifico-pratica. Si raccomanda, specie ai principianti, di adottare una soluzione come questa sia per lo specchio obbiettivo come per lo specchio diagonale piano del loro telescopio in costruzione. Mentre i due specchi sono affidati alla ditta per l'alluminiatura, si può costruire il supporto o la montatura per il telescopio. Nel progettare la montatura od il supporto, occorre non permettere mai che l'estetica e la robu-



5. Montatura ricavata da uno specchietto retrovisore per auto, modificato, per il sostegno allo specchio diagonale.



6. Semplice montatura per sostegno dei gruppi ottici in un telescopio a riflessione.

stezza del complesso raggiungano un compromesso. Il telescopio qui descritto avrà un potere massimo d'ingrandimento di circa 250 diametri e pertanto qualsiasi vibrazione prodottasi nella montatura sarà ingrandita in proporzione, e le osservazioni ne risulteranno assai peggiorate. L'obbiettivo concavo viene sostenuto da una cellula di legno munita di dispositivo a vite per la regolazione della posizione delle inclinazioni dello specchio stesso. Le ultime fasi della molatura ed infine la lucidatura dello specchio, avranno ridotto la lunghezza totale di quest'ultimo a circa 150 centimetri. Il punto centrale dello specchio a 45 gradi, o diagonale, viene disposto sull'asse ottico dell'obbiettivo concavo, alla distanza di circa 15 centimetri rispetto al punto focale dell'obbiettivo stesso, vale a dire a circa 135 centimetri dal piano dell'obbiettivo, riuscendo così a deviare un raggio conico della lunghezza di 15 centimetri in direzione dell'oculare, nel modo illustrato nel particolare della fig. 6. Al termine del montaggio gli elementi ottici dello strumento devono essere allineati. Si tratta di toglier via momentaneamente l'oculare, guardare attraverso il

tubo nel quale esso scorre e regolare lo specchio diagonale fino a quando lo specchio concavo che serve da obbiettivo risulti centrato nel campo visuale. A questo punto si tratta di correggere l'inclinazione dello specchio obbiettivo sino a quando l'immagine riflessa dallo specchio diagonale risulti centrata. Si può quindi rimettere al suo posto nel tubo apposito l'oculare, dopo di che tutto sarà pronto per le prime osservazioni. Coloro che si saranno accinti alla costruzione di questo telescopio non mancheranno di accorgersi come il progetto di questo non è certo il migliore nel suo genere. Quanti pertanto vorranno migliorarlo, potranno consultare qualcuno dei molti libri consigliati, sia in lingua italiana che in lingue estere e potranno così apprendere la delicata arte della rifinitura del secondo specchio obbiettivo per mezzo delle affascinanti prove ottiche e delle tecniche descritte più avanti.

3

DISPOSITIVO A TRANSISTOR PER ORIENTAMENTO DEI TELESCOPI

I telescopi richiedono una continua rotazione sia pure lenta per seguire il movimento delle stelle attraverso il cielo. Viene qui descritto un metodo per variare continuamente e automaticamente l'orientamento di un telescopio per mezzo di un motore che deriva la sua alimentazione da un complesso a transistor. Progetto descritto da George W. Ginn, tecnico di Lihue, Hawai.

La lenta parata di stelle che ci si presenta attraverso il cielo notturno appare notevolmente affrettata, quando la si osserva attraverso un telescopio statico di notevole potenza: poiché tale strumento ingrandisce al tempo stesso le dimensioni degli og-

getti celesti ed il loro apparente movimento, gli oggetti stessi si spostano attraverso il campo della visuale e scompaiono in pochi secondi, a meno che non sia previsto per il telescopio qualche dispositivo che lo mantenga continuamente puntato su di essi. Se il telescopio viene montato in maniera che possa ruotare, gli oggetti possono essere mantenuti sotto osservazione per la maggior parte del tempo, muovendo manualmente il tubo del telescopio stesso. L'azionamento a mano non è però abbastanza preciso per molti tipi di osservazioni. Gli strumenti usati dagli astronomi ed un gran numero dei telescopi fatti dai dilettanti sono pertanto attrezzati con meccanismi che mantengono gli oggetti celesti automaticamente in osservazione. La maggior parte dello spostamento apparente degli oggetti celesti è determinato dalla rotazione della terra, che ammonta ad un giro completo ogni 24 ore rispetto al sole e ad un giro completo di circa 23 ore e 56 minuti rispetto alle altre stelle. Il fatto che le lancette delle ore di un orologio ruotino a una velocità circa doppia di questa suggerisce che un meccanismo ad orologeria potrebbe essere modificato per servire come dispositivo automatico di orientamento, accoppiandolo, mediante la semplice serie di ingranaggi di riduzione, all'albero di rotazione del telescopio. Questa soluzione è stata tentata da molti dilettanti astronomi. I comuni orologi, infatti, si avvicinano moltissimo alle esigenze richieste per un sistema ideale di pilotaggio. Alcuni di essi erogano un'energia sufficiente per superare le perdite e gli attriti esistenti nei supporti delle bronzine del tipo usato dai dilettanti, essi non dispongono però di un sufficiente campo di regolazione della velocità. Per seguire, ad esempio, con esattezza la luna mentre essa attraversa il meridiano, un orologio deve ruotare a una velocità del 5 % circa inferiore alla normale; tale percentuale, alla latitudine di New York, corrisponderebbe alla perdita da parte dell'orologio di un'ora al giorno circa. Tale proporzione è al di là della portata del dispositivo di regolazione « rallenta-accelera » esistente negli orologi comuni. Un'altra limitazione degli orologi per la loro utilizzazione come pilotaggio dei telescopi deriva dalla proprietà a cui essi debbono la loro stessa utilità, come strumenti per la misurazione del tempo. Gli orologi ruotano a velocità costante mentre la velocità apparente di movimento di una stella varia. La luce proveniente dalle stelle basse sull'oriz-

zonte passa attraverso uno strato di atmosfera terrestre più esteso di quello attraversato dalla luce proveniente da stelle situate più in alto nel cielo; la luce di una stella prossima all'orizzonte è così fortemente rifratta, ossia deviata, dall'atmosfera, che l'immagine della stessa può essere vista parecchi secondi dopo che sia passata al di sotto dell'orizzonte stesso, ossia tramontata. In conseguenza di ciò, un meccanismo che riesca a bloccare, o come si suol dire « a congelare », un oggetto celeste nel campo di un telescopio puntato allo zenith, permette all'immagine di sfuggire in maniera più rapida di quando il telescopio viene invece puntato ad angoli più bassi. Nei dispositivi più indovinati, per il pilotaggio automatico dei telescopi, sono previsti accorgimenti con cui è possibile alterare la velocità di inseguimento del telescopio entro una ristretta gamma al di sopra od al di sotto del suo valore medio. In più i migliori sistemi sono anche muniti di un dispositivo di controllo approssimato, per permettere di variare la velocità di inseguimento di almeno uno scatto, in fatto di ordine di grandezza celeste, in modo che il tubo può essere rapidamente centrato sull'oggetto celeste che interessi.

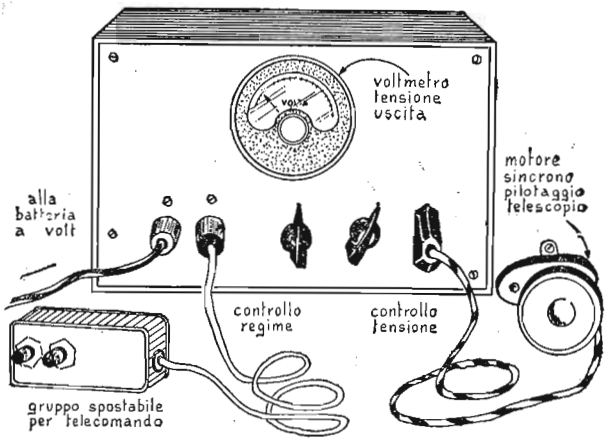
I dispositivi meccanici di azionamento, come sono quelli costruiti partendo da un meccanismo di orologeria a molla, non sono soddisfacenti che per l'uso con strumenti relativamente mobili e leggeri. La molla della carica nella maggior parte dei piccoli orologi non è infatti abbastanza potente da vincere le perdite e gli attriti nella montatura; per questo deve essere previsto un sistema di contrappesi da aggiungere per fornire energia occorrente al meccanismo degli orologi per superare i punti più difficili dello spostamento. Occorre anche una sorta di frizione, allo scopo di separare il meccanismo ad orologeria dalla montatura del telescopio, così che il tubo può essere liberato ed inclinato nel campo visivo voluto, da un lato all'altro del centro. In più, il dispositivo deve comprendere una serie d'ingranaggi differenziali, un dispositivo per la regolazione a vite o qualche altro sistema analogo per effettuare piccole correzioni nella posizione del tubo senza interrompere il movimento determinato dall'uso del meccanismo ad orologeria. Tutte queste esigenze portano inevitabilmente ad un meccanismo molto ingombrante, costoso da realizzare, non pratico da usare e difficile da mantenere nelle condizioni migliori di funzionamento.

Gran parte delle mie osservazioni, alcune delle quali destinate alla esecuzione di fotografie astronomiche, sono state realizzate da un'altitudine di oltre 3000 metri di quota, sul Mauna Loa e sulle vicine sommità vulcaniche, dove l'osservazione è estremamente buona in quasi tutte le notti dell'anno. La maggior parte di queste posizioni sono raggiungibili per mezzo di un autoveicolo od a piedi lungo le strade scavate dalla lava che. come fondo stradale, è alquanto insufficiente. Ciò significava che la mia attrezzatura avrebbe dovuto essere leggera ed abbastanza robusta da mantenere la sua precisione anche durante i disagevoli viaggi. La macchina fotografica ed il telescopio di puntamento sono sostenuti su un treppiede di fabbricazione germanica. La montatura, del tipo equatoriale, con un'asse che ruota sul piano dell'equatore terrestre e con l'altro per elevazione, è munita di flessibili collegati a volantini a mano che permettono di seguire gli oggetti di elevazione diritta; sono anche presenti morsetti di bloccaggio del tubo in qualsiasi posizione desiderata. La disposizione è adatta anche per osservazioni speciali e perfino per eseguire fotografie a breve tempo di esposizione. Comunque, per eseguire misurazioni visuali di precisione e fotografie a lunga esposizione, occorre un più preciso sistema di pilotaggio del complesso. Gran parte delle difficoltà possono essere superate sostituendo complessi elettrici alle molle e agli ingranaggi, con un sensibile guadagno nella precisione dell'inseguimento dei corpi celesti. Il mio attuale dispositivo di pilotaggio consiste di un piccolo motore sincrono del tipo usato negli orologi elettrici o alimentato da un oscillatore ed amplificatore e servito da transistors. L'oscillatore converte una corrente continua in alternata a una frequenza perfettamente nota. In effetti esso misura il tempo e corrisponde allo scappamento di un orologio. L'alimentazione per il complesso viene prelevata dalla batteria di accumulatori che provvede in sostanza alla funzione della molla e della carica di un orologio comune. Il motore, alquanto più piccolo di un pacchetto di sigarette, è montato ed accoppiato direttamente alla montatura del telescopio. Un cavetto flessibile collega il motore al complesso elettronico oscillatore-amplificatore; il complesso elettronico ha, presso a poco, le dimensioni di una piccola radio ricevente. Un altro cavetto di collegamento parte dall'amplificatore-oscillatore

ed è collegato alla batteria dell'automobile mediante pinze a coccodrillo; un terzo cavetto infine va ad una scatola di controllo munita di comandi a pulsante per la variazione, secondo la necessità, della velocità di pilotaggio. La scatola di controllo viene tenuta in una mano ed azionata con l'altra dall'osservatore durante l'uso del telescopio. Il completo sistema, meno l'accumulatore, pesa circa 2 chilogrammi, non richiede lubrificazione od altra manutenzione, non viene influenzato dalla polvere e mantiene la sua taratura entro una gamma abbastanza ampia di variazioni della temperatura dell'ambiente.

Il complesso oscillatore ed amplificatore è stato progettato per l'impiego esclusivo di transistors invece che di valvole, per prima cosa perché volevo tentare qualche esperimento con questi moderni componenti elettronici ed anche perché ormai questi ultimi e gli organi accessori necessari per la realizzazione sono reperibili in un notevole assortimento di modelli e di dimensioni; d'altro canto le sensibilissime riduzioni di dimensioni, peso e consumo di energia del complesso che i transistors permettono rispetto alle valvole e le condizioni particolari delle nostre necessità, hanno reso certamente desiderabile l'impiego di questi.

Ad eccezione del motore e degli organi di comando esistenti sulla scatola, il sistema non ha altre parti in movimento. Durante il funzionamento, l'oscillatore assorbe la corrente continua dalla batteria e la trasforma in alternata a qualsiasi frequenza desiderata, compresa tra i 55 e i 65 periodi al secondo; la frequenza viene controllata da una manopola che corrisponde alla regolazione « accelera-rallenta » di un orologio comune. Tale controllo copre pertanto una gamma alquanto maggiore del 5 %, il che è sufficiente per orientare i telescopi e le macchine fotografiche aventi meno di 150 centimetri di lunghezza focale nelle ottiche. La frequenza può essere immediatamente raddoppiata azionando uno dei due bottoni di comando sulla scatola di controllo; l'altro bottone serve a bloccare l'oscillatore. L'effetto dei pulsanti corrisponde a quello di una serie d'ingranaggi differenziali e serve per determinare un movimento lento trasversale del sistema ottico. Premendo il bottone adatto, il telescopio può essere orientato in avanti od indietro, rispetto alle stelle, alla velocità di 0,25 gradi al minuto. La porzione dell'amplificatore contenuta nel circuito eleva il livello di uscita del-



7. Veduta dall'esterno dei circuito elettronico a transistor di avanzamento per un piccolo telescopio.

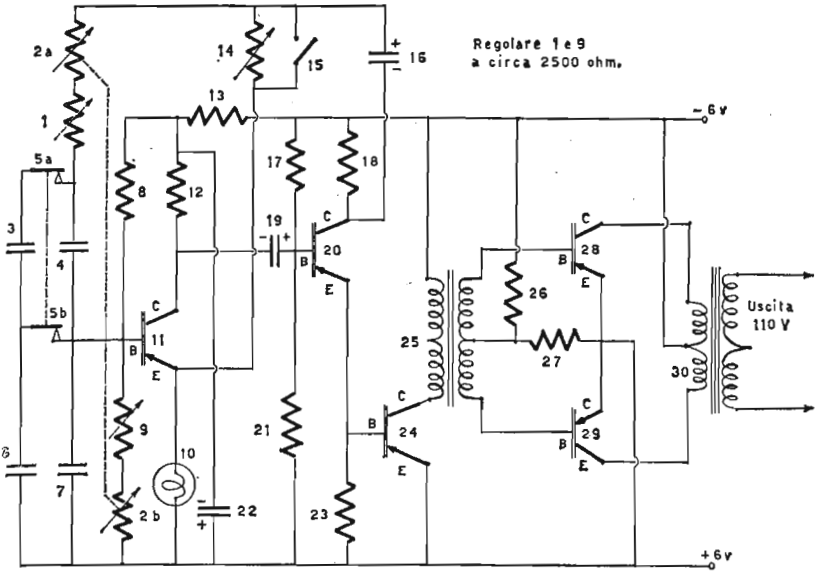
l'oscillatore fino a 4 watt, alla tensione di 115 volts per azionare il motore elettrico che richiede una potenza di circa 3,8 watt.

Il circuito dell'oscillatore è del tipo a ponte di Wien e dispone di un'eccellente stabilità. La frequenza viene regolata nella gamma del 5 % per mezzo dei 2 potenziometri e viene raddoppiata togliendo fuori di circuito i condensatori da ½ microfarad illustrati nello schema allegato in fig. 2. Il bloccaggio dell'oscillatore si ottiene cortocircuitando la resistenza di 5.000 ohm variabile, illustrata nella parte superiore dello schema stesso. Questa resistenza controlla il livello di energia che viene rimandato indietro, a polarità opposta, dall'uscita dell'oscillatore alla sua entrata ed è normalmente regolata al suo valore minimo di resistenza al quale l'oscillatore entra in funzione e mantiene stabile il suo funzionamento; la commutazione viene ottenuta per mezzo di relais le cui bobine sono azionate dai bottoni a pulsante.

Il circuito prevede anche una lampada di zavorra per stabilizzare la tensione di uscita. I filamenti sono collegati in serie con la resistenza di reazione in modo che la tensione sul circuito sia divisa fra questi due. Quando la tensione aumenta, il filamento si scalda di più e la resistenza nell'insieme aumenta.

Ciò ha l'effetto di elevare la resistenza negativa della sezione, il che a sua volta riduce la tensione che si era elevata, al suo valore normale.

Per la costruzione meccanica e per il montaggio elettrico è stata adottata la tecnica convenzionale. L'alloggiamento per il complesso oscillatore-amplificatore ha le dimensioni di 125 × 150 × 225 millimetri circa e si tratta in particolare di una scatola di alluminio reperibile presso gli empori. Il pannello di alluminio e lo chassis dello stesso metallo possono lavorarsi con una sufficiente facilità anche con un'attrezzatura minima; i piccoli componenti elettronici, chiamati transistors, assieme alle resistenze ed agli organi di analoghe dimensioni, sono montati su una basetta piana di bakelite o mica nella quale vengono praticati piccoli fori per il passaggio dei conduttori dalla parte opposta e per l'ancoraggio di alcuni dei terminali dei componenti stessi. Le calotte metalliche esterne dei transistors di potenza rappresentano anche la connessione del collettore corrispondente a sua volta all'organo chiamato « placca » nelle valvole termoioniche. A tali calotte viene applicata la tensione di alimentazione dei transistors per cui questi ultimi debbono risultare elettricamente isolati dal resto dello chassis metallico. In generale al momento dell'acquisto dei transistors di potenza possono acquistarsi anche dei particolari componenti che permettono tale isolamento elettrico, pur mantenendo il collegamento termico dei transistors sulle parti metalliche dello chassis, il che è abbastanza importante per consentire il trasferimento dai primi a questo del calore che si produce durante il funzionamento di essi e che, accumulatosi sui transistors, potrebbe alterarne la stabilità di funzionamento. In generale tali componenti sono rappresentati da dischetti di mica e di altre materie plastiche isolanti elettriche ma efficienti elementi per il trasferimento del calore. Raccomando di non eseguire delle saldature direttamente sui terminali di transistors di potenza, in quanto il calore non manca di trasferirsi con la massima rapidità lungo i terminali e di raggiungere la parte interna del transistor, dove può determinare dei danni notevoli al semi-conduttore. Una soluzione per eseguire le conessioni necessarie ai transistors, specie di potenza, può essere rappresentata dalle mollette di contatto ricuperate dagli zoccoli per valvole miniatura;



8. Disposizione circuitale per l'oscillatore-amplificatore a transistor.
Elenco parti: 1 - 3.000 ohm, a filo. 2a - 2b - potenziometro doppio a filo da 250 ohm, per controllo frequenza sino al 5%. 3 - 0,5 mF. 4 - 0,5 mF. 5a - 5b - interruttore doppio chiuso in condizioni di riposo. 6 - 0,5 mF. 7 - 0,5 mF. 8 - 47.000 ohm, impasto. 9 - 3.000 ohm a filo. 10 - lampada spia da 3 w 110 volt. 11 - transistor CK - 722 od analogo. 12 - 22.000 ohm, impasto. 13 - 2.200 ohm. 14 - 5.000 ohm, a filo, regolato su 2.500 ohm. 15 - interruttore normalmente aperto. 16 - elettrolitico da 16 mF. 17 - 22.000 ohm, imp. 18 - 470 ohm, imp. 19 - elettrolitico 5 mF, 12 volt. 20 - transistor 2N188A od analogo. 21 - 3.300 ohm, imp. 22 - elettrolitico 25 mF. 12 volt. 23 - 270 ohm, imp. 24 - transistor 2N255 od analogo. 25 - trasformatore pilotaggio controfase transistor potenza, 100:10 ohm. 26 - 100 ohm. 27 - 3 ohm. 28 - transistor 2N256 od analogo. 29 - transistor 2N256 od analogo. 30 - trasformatore speciale, vedi testo.

le connessioni agli elettrodi emettitori dei transistors di potenza devono essere sicurissime, a causa della corrente massima che scorre in tale circuito e che è di ben 2 ampère. Parlando di transistors occorre anche fare altre due raccomandazioni: per prima cosa, i transistors, a differenza delle valvole termoioniche, possono essere danneggiati irrimediabilmente quando ad essi sia applicata la tensione con polarità errata, in secondo luogo lo

stadio di uscita non può essere lasciato in funzione senza che ad esso non sia stato applicato un carico.

I transistors di potenza di questo amplificatore erogano 4,3 volt ad ogni estremità rispetto alla presa centrale del trasformatore. Questo valore dev'essere elevato fino ai 115 volt che occorrono per l'azionamento del motore elettrico; sfortunatamente non esistono ancora trasformatori in questo senso; ho pertanto dovuto tentare la trasformazione di un comune trasformatore di alimentazione per filamenti, togliendone l'avvolgimento da 117 volt. realizzando di nuovo il secondario da 6,3 volt, per farlo funzionare con la più bassa tensione disponibile all'entrata. Purtroppo, all'inizio, soltanto 50 volt erano erogati dall'avvolgimento ad alta tensione del complesso. Dopo avere comunque perso un certo tempo nelle ricerche e dopo aver consultato dei manuali tecnici molto importanti per rilevarne dei dati sui trasformatori, apparve evidente che le perdite di calore nel nucleo di ferro nei trasformatori, causate dall'elevato livello nel campo elettrico presente, assorbivano la maggior parte dei profitti che si sarebbero potuti ottenere. I trasformatori di alimentazione sono in genere progettati con un impiego minimo di rame e di ferro; prestazioni adeguate si raggiungono quando il nucleo di ferro viene fatto funzionare ad un notevole livello di flusso magnetico.

Se anche il 25 % dell'energia in giuoco viene disperso sotto forma di calore sulla massa del nucleo, ciò non comporta un grave problema, in quanto la potenza che viene utilizzata sotto la tensione a 110 volt dal movimento elettromeccanico è di pochissimi watt. Dopo avere calcolato le perdite presenti, in funzione di diversi valori di densità del flusso magnetico e di sezione di filo usato per gli avvolgimenti, sono giunto alla scelta della migliore combinazione tra questi due elementi, ed in questo senso mi sono orientato nel riavvolgimento del trasformatore.

In particolare, ho ricostruito il primario con 48 spire di filo smaltato da 1 millimetro di sezione, per ogni metà dell'avvolgimento, rispetto alla presa centrale, mentre ho adottato il numero di 1560 spire di filo da 0,2 millimetri per il secondario. Queste condizioni hanno dato come conseguenza di ridurre a circa 6.500, dalle originarie 14.000 per cm^2, le linee del flusso

magnetico per un nucleo scelto con una sezione centrale di circa 5,5 cm^2. Qualsiasi nucleo di questa sezione tra quelli che ho provati si è dimostrato adatto a tale uso, solo nuclei di minore sezione rendevano necessario l'impiego di un numero maggiore di spire. In ogni caso, le perdite che si verificavano erano proporzionali al peso di un nucleo ed al quadrato del valore della densità delle linee del flusso del nucleo stesso. Occorre dire che il nucleo di un trasformatore per bassa frequenza, di uscita o di accoppiamento serve, per questo lavoro, assai meglio di un nucleo per trasformatore di alimentazione, in quanto costituito da ferro laminato ad uno spessore più sottile e di migliore qualità.

I transistors di potenza utilizzati nel complesso operano alternativamente, per cui una sola metà dell'avvolgimento primario del trasformatore conduce corrente ad ogni istante. Se il trasformatore avesse dovuto funzionare alimentato con la tensione convenzionale di 4 volt, l'avvolgimento primario avrebbe potuto essere senza presa centrale e costituito da 48 spire. Nel caso invece che si voglia il funzionamento del complesso con 12 volt, occorre raddoppiare il numero delle spire. In questo caso, però, la potenza di uscita del complesso sarebbe di 9 watt, il che renderebbe necessario l'impiego sul secondario di filo da 0,25 millimetri e per la stessa ragione anche il nucleo impiegato dovrebbe essere scelto di una sezione alquanto maggiore, non solo per la potenza da dissipare, ma anche per la necessità di una maggiore dimensione delle finestre presenti in esso e destinate ad accogliere l'avvolgimento.

Con i nuovi avvolgimenti descritti, il complesso erogava all'uscita circa 90 volt, misurati con uno strumento a bobina mobile predisposto per la misurazione di tensioni alternate, ossia con l'inserzione del raddrizzatorino interno. Ulteriori indagini in questo senso permisero di accertare che questo basso valore era dovuto all'irregolarità della forma di onda prodotta, al che non era estraneo il motore elettrico, con un fenomeno di induzione. L'aggiunta di un condensatore a carta da 0,5 microfarad, tra i due capi dell'avvolgimento secondario del trasformatore, permise comunque la correzione della forma di onda prodotta e portò la tensione in uscita al valore voluto di 115 volt. La tensione, inoltre, aumenta alquanto anche quando la fre-

quenza del complesso viene raddoppiata, ma questo fatto incidentale, non rappresenta una condizione negativa, ed anzi, dato che con l'aumento della frequenza si verifica, nel motore elettrico, una piccola diminuzione della coppia di torsione, la tensione maggiore che nel nostro caso si ha a disposizione, contribuisce a mantenere costante la coppia di torsione stessa.

Sempre riguardo al prototipo di questo complesso elettronico vanno fatti altri rilievi, quale quello che all'esame dell'oscilloscopio appare evidente la produzione nel circuito di oscillazioni aventi forme d'onda insolite quando non addirittura misteriose. Ad ogni modo quanti si cimenteranno nella costruzione di questo complesso, troveranno certamente il sistema per migliorarne il circuito e ovviarne i difetti, ed anzi, io stesso, sarò ben lieto di essere informato circa i risultati da essi ottenuti. Ad ogni modo anche se il circuito sarà realizzato e lasciato nelle condizioni del prototipo e dello schema allegato di esso, gli inconvenienti che ne deriveranno, non sono certamente gravi e determinanti: il comportamento del complesso con l'alimentazione a batteria è sempre assai diverso da quello dello stesso, alimentato con corrente alternata ridotta. Comunque, l'impiego dell'insieme è semplicissimo: si tratta solo di installare il telescopio con il voluto orientamento, di inserire i vari cavi di collegamento tra le sezioni del complesso, di regolare la velocità di spostamento, dopo di che tutto sarà pronto per le osservazioni.

È sottinteso che il dilettante astronomo che si accinge alla costruzione di questo complesso deve avere qualche cognizione relativa ai circuiti elettronici ed alla loro attuazione pratica nei montaggi; si raccomanda a quanti non siano in possesso di queste nozioni di mettersi in contatto con qualche radiotecnico della zona, da cui potranno certamente ottenere il massimo aiuto, quasi sempre disinteressato. Gli inesperti faranno anche bene a consultare qualcuno dei moderni manuali di divulgazione su quell'interessante argomento elettronico che si riferisce ai semiconduttori ed ai transistors in particolare: molti sono infatti, ormai, i manuali disponibili su questo argomento, sia in lingue straniere come anche in italiano, e anche le ditte nazionali ed estere produttrici di transistors pubblicano in genere manualetti di teoria e di pratica atti a chiarire i principali concetti di funzionamento dei transistors stessi.

4

DISPOSITIVO ELETTRONICO PER L'ELIMINAZIONE DEL BRILLAMENTO DELLE STELLE

Il tremolio della luce delle stelle, così suggestivo per chiunque sosti per un momento ad osservare la volta del cielo ad occhio nudo o con un telescopio è causa invece, all'astronomo, di uno dei maggiori problemi, in quanto è il fenomeno per il quale praticamente tutte le fotografie degli oggetti celesti riescono imprecise e confuse. Robert Leighton, fisico nucleare dell'Istituto di Tecnologia della California, appassionato astronomo dilettante, spiega in questo sottocapitolo come sia riuscito a ridurre al minimo l'imprecisione delle immagini con l'aiuto di un complesso elettronico: le foto di pianeti da lui eseguite con l'apparato, sono considerate attualmente le più chiare e definite tra tutte quelle disponibili.

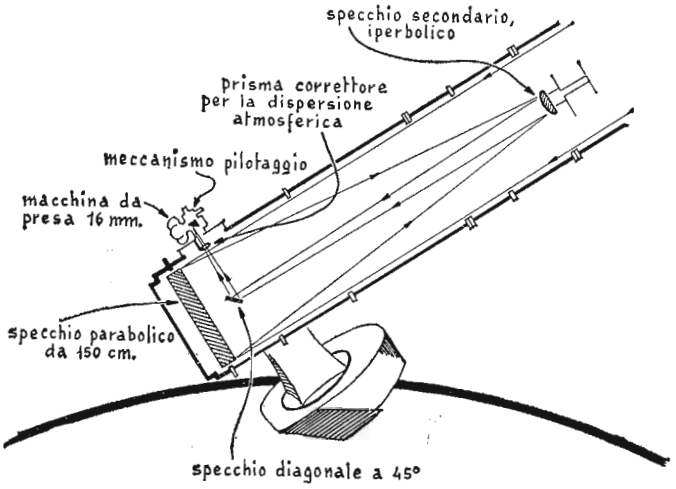
È convinzione comune che i telescopi più grandi, quale quello del Monte Wilson da 250 centimetri e quello del Palomar da 500 centimetri, debbano mostrare i più sottili dettagli della luna e dei pianeti poiché si suppone che il potere risolutivo della lente o dello specchio di un telescopio, perfettamente progettato e costruito, migliori via via con l'aumento del diametro della lente obbiettivo dello strumento.

Secondo il cosiddetto « criterio di Rayleigh », il potere risolutivo di un telescopio viene espresso numericamente dividendo il numero 11,25 per il diametro dell'obbiettivo stesso, in centimetri. Il quoziente ottenuto fornisce la più piccola separazione angolare, in secondi di grado di arco, alla quale due punti di pari luminosità possano ancora essere distinti uno dall'altro. Ogni coppia di punti, separati invece da un angolo più piccolo, si con-

fonderà a causa della natura ondulatoria della luce e la coppia stessa si potrà pertanto osservare come un punto singolo. Ne deriva che se la prestazione dei telescopi più grandi fosse limitata solo dalle loro qualità ottiche, essi fornirebbero delle stupende immagini dei pianeti.

Sebbene però questi grandi strumenti siano virtualmente perfetti dal punto di vista ottico come da quello della costruzione meccanica, ed abbiano fornito delle prestazioni addirittura superiori a quelle che da loro si attendevano nelle funzioni per le quali essi erano stati progettati, vi sono pochissime probabilità che essi riescano a mostrare i dettagli dei pianeti in vicinanza del limite delle loro possibilità teoriche. Vi sono infatti buoni motivi per credere che le migliori fotografie della luna e dei pianeti potranno essere fatte con telescopi di solo 75-100 centimetri di diametro o di apertura.

All'osservazione diretta, all'oculare di un telescopio anche relativamente modesto, è possibile vedere sulla luna milioni di piccoli crateri aventi diametri di meno di 300 metri, mentre non è stata mai ripresa alcuna foto della luna stessa, nella quale apparissero visibili crateri aventi diametri inferiori a 1.500 metri.



9. Dispositivo di Leighton di pilotaggio, applicato al sistema ottico del telescopio dell'Osservatorio di Monte Wilson.

Inoltre, il sistema di anelli attorno a Saturno non è mai stato fotografato in maniera soddisfacente: gran parte delle foto mostra infatti solo i due anelli principali e la maggiore separazione laddove, all'osservazione diretta anche con piccoli telescopi, è visibile l'anello poco luminoso ed increspato, nonché almeno altre due separazioni. I canali di Marte rappresentano un terzo esempio: il mancare di essi in tutte le foto che a migliaia sono state eseguite di questo pianeta è la causa della annosa controversia riguardante la loro stessa esistenza. Molti osservatori di fama hanno steso rapporti dopo averli osservati; altri ugualmente autorevoli negano di averne vista traccia: sarebbe bastata una foto del pianeta, in cui essi fossero apparsi, in maniera convincente, per fare cadere questa alternativa sulla loro esistenza.

Tali esempi, ed in particolare quello dei crateri lunari, puntualizzano chiaramente come esista una vasta separazione tra l'accurata osservazione diretta delle immagini celesti e la registrazione fotografica delle stesse immagini. La causa principale di queste differenze non si trova d'altra parte in qualche carenza della perfezione ottica o meccanica degli strumenti usati, ma piuttosto nella instabilità dell'atmosfera terrestre, determinata dalle disuniformità di carattere termico, sempre presenti, nell'atmosfera stessa.

Questa condizione inevitabile, congiunta con la necessità dei molti secondi di esposizione per la esecuzione delle foto nelle basse condizioni di luminosità esistente, conducono sempre ad una risoluzione fotografica piuttosto limitata, sia che il lavoro venga condotto con un telescopio di grandi oppure di piccole dimensioni.

Il grado di stabilità ottica dell'atmosfera è chiamato « visibilità ». Un effetto della turbolenza quasi sempre presente è visibile ad occhio nudo sotto forma del brillamento o tremolio delle stelle. Dato infatti che le zone non uniformi degli strati dell'atmosfera si spostano allontanandosi sulla linea di vista dell'osservatore, riescono ad agire sui raggi luminosi che le attraversano, determinandovi una deviazione continuamente variabile ed una variazione di fase. I raggi vicini poi interferiscono a vicenda dando luogo ad una alterazione dei colori e della intensità con cui essi giungono al punto di osservazione. Durante le epoche di buona visibilità, l'atmosfera è relativamente calma

e termicamente uniforme nella sua massa ed, in tali frangenti, il brillamento od il tremolio della luce delle stelle è minimo od addirittura inesistente. Durante invece le epoche sfavorevoli di visibilità, l'atmosfera presenta numerose zone vicine, a temperature diverse, ed allora il tremolio delle stelle è molto marcato.

La turbolenza atmosferica che determina una mediocre visibilità può avere origine da diverse ragioni: può ad esempio essere prodotta da oggetti locali, a temperatura più elevata degli altri, quali motori, apparecchiature, od anche da altre persone vicine al punto di osservazione, da una differenza tra la temperatura dell'aria esistente nel tubo del telescopio e quella circostante, o da costruzioni ed installazioni vicine che emettano maggiori o minori quantitativi di calore. Più generalmente, le disuniformità sono determinate da correnti di convenzione di notevole entità che accompagnano la formazione di nubi, la variazione della pressione e dell'umidità locale, le tempeste, od ancora, la turbolenza esistente tra strati di atmosfera a diversa temperatura o la differenza tra le velocità e le direzioni dei venti. Il tipo di visibilità possibile, caso per caso, può essere accertata con l'aiuto dello stesso telescopio, usando questo per osservare una immagine sfocata di una stella piuttosto luminosa. L'immagine che si può vedere assomiglia all'insieme di punti e di strisce che si produce al fondo di un recipiente pieno di acqua, tenuto in uno stato di leggerissima agitazione; l'insieme pertanto è in continuo movimento. Quando l'insieme si muove lentamente e presenta dei contorni molto netti si può diagnosticare la presenza, nelle vicinanze, di sorgenti di calore quasi sempre facilmente individuabili con una più accurata osservazione. Se l'insieme è in rapido movimento, e lo si può vedere addirittura spostarsi lungo l'obbiettivo in una o più direzioni, si può diagnosticare la presenza di venti, a quote più o meno elevate nell'atmosfera.

L'effetto della « visibilità » sulla qualità della immagine che viene formata da un telescopio dipende dalle dimensioni delle varie zone disuniformi dell'atmosfera, ossia dalla larghezza della zona nella quale la temperatura dell'aria è uniforme quel tanto che un fascio di raggi paralleli la possono attraversare subendo solo una leggera distorsione. La zona dell'obbiettivo (lente o specchio che sia) che riceve tale raggio regolare produce un'im-

magine assai prossima alla perfezione. Se la dimensione di questo « spiraglio » di visibilità è minore dell'apertura dell'obbiettivo stesso, vengono a cadere diversi fasci luminosi provenienti da più « spiragli »: si hanno cioè, in sostanza, diverse immagini che si combinano nel percorso dall'obbiettivo all'oculare dando luogo alla formazione, a valle di questo, di una immagine confusa nella quale saranno impercettibili i dettagli minori. Se le dimensioni dello spiraglio sono tali che solo pochi di questi possono essere ricevuti dalla superficie dell'obbiettivo, allora l'immagine distinta di ciascuno di questi può essere veduta separatamente in quanto nell'oculare si ha la sensazione di osservare un piccolo ammasso stellare in anormale movimento: questo è appunto il caso che si verifica spesso con i crateri della luna e con i satelliti di Giove.

Nel caso limite opposto, invece, lo spiraglio è talmente grande che il fascio luminoso che lo attraversa copre interamente la superficie dell'obbiettivo; allora l'immagine che si ottiene è unica, chiara e netta. Anche in questo caso, potrà accadere di vedere l'immagine muoversi irregolarmente partendo da una posizione media di stasi. Tali escursioni irregolari sono a volte di ampiezza notevole e giungono ad uno od a due secondi di arco, il che rappresenta una considerevole percentuale del diametro angolare di Marte o di Giove. Appare quindi evidente che, sotto determinate condizioni, è addirittura svantaggioso adottare per l'ottica del telescopio un'apertura di dimensioni maggiori di quella del fascio di luce che giunge allo strumento per lo « spiraglio ». Ove si adotti un'apertura maggiore si potrà ottenere, è vero, una maggiore luminosità delle immagini, il che a volte è indispensabile, ma ciò andrà a spese della definizione dei dettagli delle immagini stesse.

Qual'è, pertanto, la migliore dimensione dell'obbiettivo di un telescopio destinato ad una osservazione diretta? Evidentemente, dovrebbe essere quella atta a consentire la migliore utilizzazione del fascio di luce proveniente attraverso lo spiraglio, in funzione delle massime possibili dimensioni dello spiraglio stesso. Queste dimensioni massime dipendono poi, a loro volta, dalla posizione geografica del punto in cui si effettua l'osservazione ed anzi ogni località, o per lo meno, ogni regione, presenta una certa

distribuzione delle condizioni annuali di visibilità; in più si può dire che ogni notte vi è un massimo di apertura utilizzabile per l'obbiettivo. Per la maggior parte delle notti, anche in posizioni favorevoli, questa apertura massima utile potrà anche essere 10 centimetri. In talune notti poi, si potrà avere un'apertura massima di 25 o 30 centimetri. Aperture di 125 o 150 centimetri possono invece essere utilizzate interamente con il massimo effetto. I telescopi più grandi, quali quelli a riflessione da 250 a 500 centimetri, possono contare su condizioni pienamente favorevoli di osservazione, solo poche volte, ad intervalli di parecchi anni. Al contrario, non vi è astronomo, tra quanti abbiano condotto osservazioni al telescopio da 500 centimetri di Hale, che abbia mai riferita l'osservazione di immagini stellari del diametro di meno di 3/10 di secondo, dimensione questa che corrisponde al potere teorico di risoluzione di un telescopio con un obbiettivo di soli 37,5 centimetri di apertura. È quindi evidente come chi sia interessato all'osservazione diretta, all'oculare, non possa trarre molto vantaggio dall'impiego di telescopi di grandi dimensioni.

Se poi consideriamo la situazione dal punto di vista della esecuzione delle foto astronomiche, un nuovo elemento si aggiunge a complicare il problema: quello cioè delle esigenze di un sufficiente tempo di esposizione della lastra sensibile, perché su questa sia registrata a sufficienza l'immagine che interessa. A causa di questo, dunque, il vantaggio di un'apertura minore scompare in quanto, ad una piccola apertura, corrisponde necessariamente un'immagine meno luminosa e questo comporta il prolungamento del tempo di esposizione: niente di più facile che, durante questo tempo, l'immagine si sposti nell'oculare e questo dia luogo ad una fotografia confusa e praticamente inutilizzabile. Pertanto, per l'esecuzione di foto astronomiche, è quasi indifferente l'impiego di un'apertura grande o piccola per il telescopio; comunque conviene sempre adottare per la foto le condizioni massime di apertura che si possono adottare per l'osservazione diretta, quando con esse si riescano ad ottenere dei risultati soddisfacenti.

Dovrebbe essere abbastanza chiaro perché l'osservazione diretta si sia dimostrata superiore a quella delle foto, specialmente per i dettagli della luna o dei pianeti. Per l'osservazione diretta

di un oggetto celeste di luminosità sufficiente, non è di grande importanza se la sua immagine sia o meno immobile sull'oculare, purché essa si sposti solo lentamente e abbia i contorni ben netti, dato che l'occhio è in grado di seguire prontamente gli spostamenti anche irregolari della immagine, determinati dalla instabilità e dalla disuniformità degli strati dell'atmosfera. Per la ripresa fotografica, invece, è indispensabile che l'immagine sia, al tempo stesso, perfettamente definitiva e che resti immobile per tutto il tempo della durata dell'esposizione. In più l'astronomo, nell'osservazione diretta, ha il vantaggio di potere interrompere questa quando l'immagine è mediocre, concentrando la sua attenzione sui periodi in cui essa è invece soddisfacente, mentre la lastra fotografica registra indiscriminatamente l'immagine come essa si presenta in tutti gli istanti e questo si risolve con un accumularsi di registrazioni diverse che danno luogo alla produzione di foto confuse ed inutilizzabili.

Eppure nonostante la meravigliosa capacità dell'occhio di afferrare l'immagine e della mente umana di ricordarla, alcune occhiate di sfuggita su particolari di grande finezza, in movimento, non possono rappresentare che una soluzione insoddisfacente ai nostri problemi di osservazione. In più, il nostro occhio non è uno strumento di misurazione quantitativa molto preciso e la mente non è molto obbiettiva quando registra una immagine per ricordarla, mentre la precisione, l'obbiettività e la stabilità della registrazione, resa possibile dalla fotografia, appaiono desiderabili in questa occasione come anche in tutti gli altri campi della scienza.

Esiste una certa serie di soluzioni atte ad eliminare o per lo meno, a ridurre le limitazioni imposte dalla turbolenza degli strati di atmosfera sulla fotografia astronomica. La più ovvia di tutte è certo quella di tentare l'esecuzione delle foto, proprio in quelle rarissime notti in cui un telescopio di maggiori dimensioni offrirà delle prestazioni veramente migliori di quelle offerte in pari condizioni da un telescopio più piccolo.

Sfortunatamente questo non comporta solamente la necessità di un'atmosfera sufficientemente stabile ed uniforme, ma anche quella che lo strumento si trovi in una posizione favorevole per l'esecuzione della foto. Nel caso della luna, questo riduce immediatamente il numero delle probabilità di una tale coinci-

denza di un fattore di almeno 4 e nel caso di Marte del fattore di 40, a parte il fatto che le più favorevoli opposizioni di Marte si verificano quando questo risulta troppo basso all'orizzonte per essere raggiunto dai più grandi telescopi del mondo, i quali non possono abbassarsi al di là di un certo limite di inclinazione. Sarebbe un caso veramente unico se in questo o nel prossimo secolo potesse essere ripresa, con il telescopio da 500 centimetri, una foto di Marte in grado di mostrare dettagli atti a dare un vero vantaggio del suo straordinario potere risolutivo.

A contrasto con le prestazioni del telescopio da 500 centimetri, le possibilità di una buona osservazione migliorano così rapidamente con la diminuzione dell'apertura, che un telescopio da 100 o 125 centimetri potrebbe essere usato vantaggiosamente per la fotografia dei pianeti, a patto di riprendere molte foto quasi in continuazione durante ogni nottata nei periodi favorevoli. Ma questo comporterebbe però la necessità di riservare, per tale scopo, gran parte del tempo da dedicare all'osservazione ed un tale problema non potrebbe essere giustificato di norma, se non per un breve tempo, come ad esempio, durante i periodi delle poche opposizioni favorevoli di Marte.

È evidente come la giustificazione economica dei telescopi di maggiori dimensioni non è quindi quella della loro capacità a mettere in evidenza i dettagli più piccoli di oggetti celesti di grandi dimensioni, abbastanza luminosi e relativamente vicini; invece, la sua enorme capacità di captare i raggi luminosi provenienti dallo spazio viene messa a profitto per eseguire delle foto di oggetti di luminosità molto ridotta e che siano così lontani nello spazio da non potere essere rilevati con strumenti più piccoli.

Da quanto detto, risulta chiaro che non possiamo sperare di eseguire qualcuna delle tanto desiderate foto di Marte, con la sola soluzione di progettare telescopi sempre più potenti. Come è dunque possibile avvicinarsi alla soluzione di questo problema?

Per quanto sino ad oggi non si conosca una soluzione veramente perfetta, diverse possibilità sono state prese in considerazione e talune di esse hanno anzi già offerto risultati promettenti. Una è quella di rimuovere, lungo il percorso dei raggi luminosi provenienti dai corpi celesti e diretti al telescopio, la causa delle distorsioni e di tutti gli inconvenienti, vale a dire

l'atmosfera: si tratterebbe in effetti di distaccare il telescopio dal suo tradizionale solido basamento, bene ancorato alla terra e sollevarlo al di sopra dello strato dell'atmosfera, per mezzo di un razzo, di un pallone o di un satellite od anche di un aereo a getto, ad altissime quote.

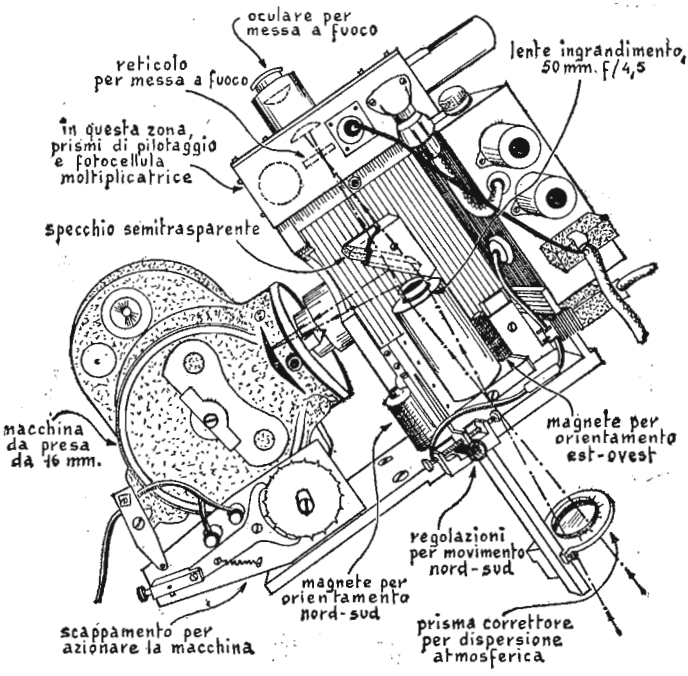
Una diversa linea di attacco al problema potrebbe essere quella di ridurre così drasticamente il tempo di esposizione richiesto dalle pellicole che anche un telescopio relativamente piccolo potesse essere usato. Un sistema basato su questo principio è stato provato all'osservatorio Lowell a Flagstaff, nell'Arizona: esso comporta un trattamento di intensificazione dell'immagine registrata, al punto che il tempo di esposizione viene ridotto di trenta volte; in queste condizioni, l'immagine ha assai meno tempo per spostarsi lungo l'obbiettivo e quindi lungo la pellicola o la lastra ed anche le sbavature nell'immagine registrata vengono ad essere considerevolmente ridotte.

Si tratta essenzialmente di un sistema televisivo a circuito chiuso che utilizza una camera da ripresa televisiva del tipo « orthicon », collegata attraverso un amplificatore ad un cinescopio: in queste condizioni, l'immagine è ripresa sullo schermo di quest'ultimo con una macchina fotografica il cui otturatore è sincronizzato con la scansione dell'immagine stessa. Con questo sistema è possibile anche accertare elettronicamente il momento in cui l'immagine è nelle migliori condizioni di definizione, rendendo possibile un'esposizione completa, mettendo insieme un numero sufficiente di intervalli più brevi, scelti al momento più adatto. È troppo presto adesso per apprezzare le possibilità di questo nuovo metodo elettronico, come di quello dell'intensificazione dell'immagine mediante pannelli elettroluminescenti ma, senza dubbio, sentiremo ancora parlare di questi sistemi, nell'avvenire.

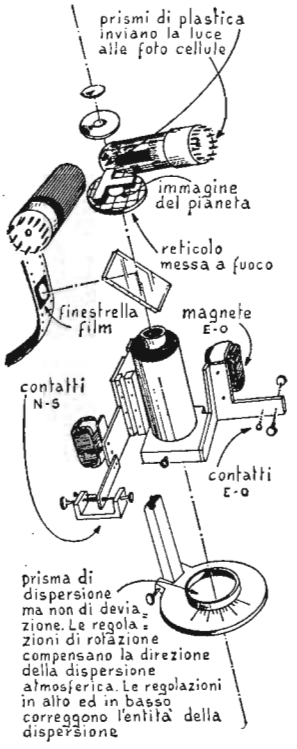
Durante gli scorsi anni, io stesso ho provato un terzo espediente nel quale si prevede l'impiego di un sistema di guida elettronica del complesso ottico, per mantener questo in condizione di seguire l'immagine quando questa si muove nell'obbiettivo e quindi sulla lastra fotografica. Avevo osservato che, durante i periodi di buone condizioni di visibilità, l'immagine di un pianeta tende a muoversi come un tutto unico, piuttosto che variare di forma o di dimensioni. Questo movimento è casuale ma l'immagine rimane sempre entro uno o due secondi di arco,

rispetto ad una certa posizione centrale media; inoltre, cosa ancora più importante, il movimento dell'immagine è abbastanza lento da rendere pratica la possibilità della progettazione di un dispositivo elettromeccanico in grado di comandare al sistema ottico i movimenti atti a compensare i movimenti stessi della immagine.

Dopo una serie adeguata di errate partenze, mi orientai nella costruzione di un complesso di guida e lo provai con un pianeta artificiale, rappresentato da un foro illuminato dal retro, e di 2 millimetri di diametro, eseguito in una lastra di metallo. Questo punto luminoso poteva infatti essere spostato secondo un percorso che avrebbe simulato il movimento effettivo dell'immagine di un pianeta sotto delle condizioni medie di visibilità. Il complesso in questione veniva poi accoppiato ad una macchina da ripresa cinematografica da 16 millimetri opportunamente modifi-



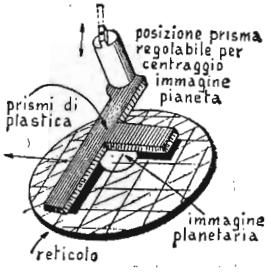
10. Veduta ravvicinata del gruppo ottico e della macchina da ripresa, nel sistema di pilotaggio di Leighton.



11. Gruppo ottico, con cellule fotoelettriche e magneti di spostamento, del dispositivo elettronico di pilotaggio di Leighton.

cata e montato sul tubo del telescopio da 150 centimetri installato sul Monte Wilson, come illustrato in fig. 10. Le foto ottenute con questo sistema presentano una finezza di dettaglio comparabile almeno a quella ottenibile con l'osservazione ad occhio nudo, con un complesso a 750 ingrandimenti.

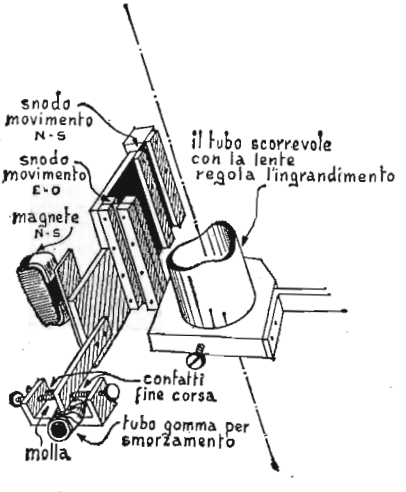
Il dispositivo opera nel modo seguente: una piccola lente d'ingrandimento avente un rapporto, fra lunghezza e diametro, di circa f/ 4,5 viene montata su di un carrello con doppio sistema d'imperniatura come illustrato nella fig. 11, in modo che il carrello consenta alla lente mezzo millimetro circa di spostamento trasversale in qualsiasi direzione. I due componenti del moto sono governati da due piccoli elettromagneti la cui trazione è bilanciata da due molle antagoniste; la luce proveniente dal telescopio forma nel piano focale dello strumento un'immagine, poi



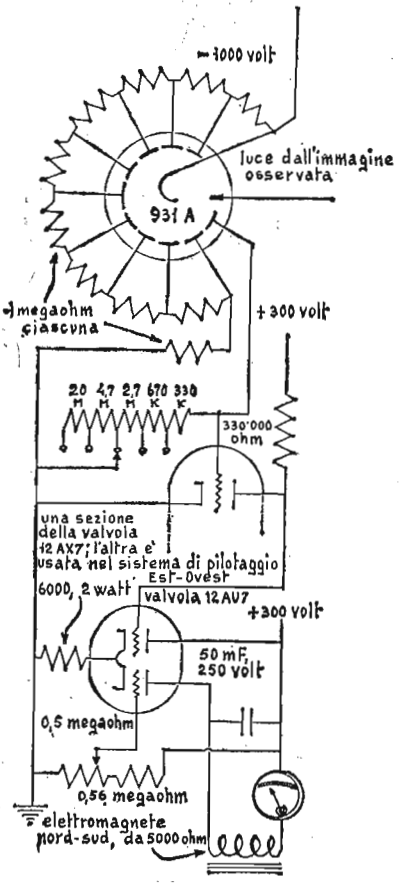
12. Prismi di deflessione realizzati a partire dalla lastra di plexiglass.

oltrepassa questo piano attraversando la lente d'ingrandimento aggiunta, viene riflessa da uno specchio diagonale semiriflettente e giunge nuovamente a fuoco, sul piano focale della macchina da ripresa cinematografica. Una parte della luce dell'immagine, attraversa lo specchio che, come è stato detto, è anche un poco trasparente e giunge a focalizzarsi su di una specie di reticolo retrostante, dove può essere osservata attraverso un oculare. Altri due piccoli prismi riflettenti, a spigoli vivi, sporgono leggermente nel percorso di questo ultimo raggio di luce, provenienti da due direzioni in corrispondenza del piano focale e deviano un piccolo quantitativo della luce disponibile, in direzione ciascuna delle due valvole fotomoltiplicatrici (vedi fig. 12).

I segnali provenienti da queste valvole sono amplificati in se-

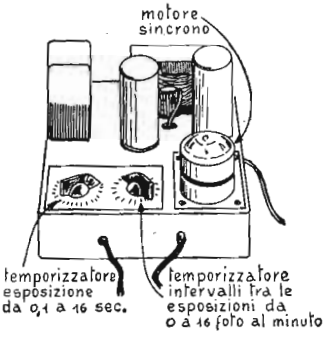


13. Dettagli dei contatti di fine corsa, delle cerniere e del mezzo per la regolazione della lente.



14. Schema elettrico del sistema per la deviazione dell'immagine della stella osservata, nella direzione Nord-Sud. Un identico dispositivo e circuito provvede alla deviazione dell'immagine nelle direzioni Est-Ovest.

parati canali di amplificazione di corrente continua e sono quindi inviati alle bobine degli elettromagneti i quali determinano la posizione della lente aggiuntiva d'ingrandimento. Il sistema entra quindi in funzione alla ricerca di una condizione nella quale un determinato quantitativo di luce entra in ciascuno dei tubi fotomoltiplicatori. Se l'immagine del telescopio si muove di un piccolo tratto, il quantitativo di luce che entra nella coppia di fototubi varia e dallo squilibrio deriva un intervento del complesso che risponde nella maniera conveniente per cancellare lo



15. Controllo elettronico per il tempo di esposizione e per lo spostamento della pellicola.

spostamento verificatosi. Questo sistema di reazione negativa non è ovviamente in grado di eliminare totalmente lo spostamento che si può verificare, ma riesce nondimeno a ridurlo di un fattore di almeno 10. In tale maniera le fluttuazioni nella visibilità, le vibrazioni meccaniche del complesso e gli errori di orientamento dello strumento vengono essenzialmente cancellati entro una gamma compresa tra la frequenza di 2 oscillazioni al secondo, sino alla immobilità completa.

Una caratteristica aggiuntiva desiderabile del complesso, di grande convenienza, per quanto non indispensabile, è quella della esistenza sul carrello della lente, di contatti da relais i quali operano come interruttori di limite o di fine corsa, per impedire ai magneti di operare oltre i limiti della gamma che essi sono destinati a servire: se questo limite viene superato, viene messo automaticamente in funzione il dispositivo per il movimento lento del telescopio che sposta indietro quest'ultimo, riportandolo al centro della zona di funzionamento. Così, una volta operata la regolazione, il dispositivo automatico provvederà a seguire, mantenendola centrata, l'immagine di un pianeta per un'intera nottata di osservazione. Ad eccezione che per la messa a fuoco della immagine sul reticolo per la rotazione manuale saltuaria del telescopio, il funzionamento dell'intero sistema è automatico, inclusa la regolazione del tempo per ciascuna delle singole esposizioni e l'avanzamento del film; il meccanismo per la dosatura del tempo di esposizione è illustrato nella fig. 15.

Con l'impiego di questo dispositivo uno dei due inconvenienti

più gravi di una esposizione di grande durata viene essenzialmente eliminato, cioè il movimento relativo della immagine, come un tutto unico, sulla superficie della pellicola sensibile; rimane però ancora necessario adattare il diametro dell'obbiettivo del telescopio alle dimensioni dello spiraglio attraverso il quale giunge allo strumento il fascio luminoso indisturbato e senza distorsione, in maniera che l'immagine possa rimanere ben definita per la maggior parte del tempo di esposizione.

Per le foto da me eseguite, ho usato della pellicola Kodachrome da 16 millimetri con tempi di esposizione variabili da 2 secondi per la fotografia di Giove sino a 16 secondi per la foto di Saturno. Le esposizioni sono state di solito effettuate ad un regime di due fotogrammi per minuto per un periodo di qualche ora ogni volta: in seguito, una volta sviluppato il film, venivano scelti da questo, i fotogrammi meglio riusciti che si adattavano quindi per la esecuzione degli ingrandimenti.

5

UN LABORATORIO DI ASTROFISICA NEL CORTILE

Con l'aggiunta di pochi adatti accessori, il telescopio diviene uno strumento ed un apparecchio di possibilità enormi, per sondare nei misteri dell'universo; uno di tali accessori, lo spettrografo, riesce a trasformare materialmente lo strumento in un vero e proprio laboratorio.

Se si tolgono ad un telescopio le scale di orientamento, il meccanismo di rotazione ed orologeria e gli altri accessori relativi, si giunge a ridurre l'apparecchio ad uno strumento analogo come concetto ad un bastone per ciechi. Come appunto un ba-

stone per ciechi, esso informa l'interessato dell'esistenza di qualche cosa dinanzi ad esso. Scevro da accessori, il telescopio non dice quasi nulla in relazione alle dimensioni, alla temperatura, alla densità, alla composizione né in relazione a qualsiasi altra notizia fisica riguardo alle stelle osservate. Non più di 20 corpi celesti, considerando come oggetti le comete, gli ammassi stellari e le nebulose, appaiono attraverso all'oculare come interessanti disegni di luci e di ombre. Solo il corpo celeste, la luna, presenta una qualche ricchezza di dettagli superficiali; tutti gli altri, appaiono al telescopio assai simili a come si presentano quando siano osservati ad occhio nudo. Vi è una grande profusione di stelle, ma il telescopio aggiunge ben poco splendore al firmamento.

Questa è la ragione per la quale l'esperienza della costruzione di un telescopio lascia alcuni dei dilettanti astronomi con la sensazione di essere stati ingannati. Poche occhiate all'oculare estinguono in loro, almeno all'apparenza, la novità dello spettacolo ed i dilettanti passano ben presto ad altri interessi. Altri dilettanti, invece, come Walter J. Semerau di Kenmore, in New York, non si sono fatti prendere così facilmente dallo scoraggiamento dedicandosi con costanza al loro hobby sino a giungere con esso, al regno, senza confini, dell'astrofisica. Essi possono infatti osservare l'esplosione di una stella, la lenta rotazione di una galassia, le protuberanze fiammeggianti del sole e molti altri fenomeni di complicatissimo dramma dei cieli.

Semerau aveva dedicato più di 700 ore di lavoro nella costruzione del suo primo telescopio e ammette che ciò che egli vide attraverso ad esso gli apparve come un misero compenso per il tempo e per le fatiche spese. Egli si affretta però a precisare che non gli sono mancate altre soddisfazioni nella soluzione di diversi affascinanti problemi di ottica e di meccanica: per chiunque abbia una certa inclinazione per la lavorazione meccanica, le soddisfazioni di una tale impresa sono massime e, sotto questo aspetto, a Semerau ed a quanti altri si sono orientati nello stesso modo, l'impresa della costruzione del loro primo telescopio è stata quella che ha offerto le massime soddisfazioni.

A quanto riferisce, egli iniziò da un telescopio del tipo di Newton da 30,5 centimetri a riflessione munito di macchina fotografica per fotografia astronomica da 10 centimetri e con al-

loggiamento per le lastre fotografiche. Entrambi questi accessori erano montati su di un robusto supporto munito di meccanismo per l'orientamento a mezzo di un motore elettrico, con delle scale di orientamento e con dispositivi di comando per lo spostamento lento. Egli poté non solamente indagare assai più profondamente nello spazio, ma condurre molte altre esperienze, quale quella della determinazione della distanza di un corpo celeste vicino, misurandone il cambiamento di posizione relativa nel cielo, mentre la terra compiva i suoi movimenti di rotazione attorno al sole. Per aumentarne le possibilità, egli rese anche più lungo il telescopio ottenendo così la possibilità di un controllo assai più accurato su di esso. Tenendo come punto di riferimento la sensibilità delle moderne emulsioni fotografiche, si può dire che i nuovi strumenti di Semerau erano quasi comparabili con quelli dei migliori osservatori astronomici del mondo di 50 anni addietro. Durante questi 50 anni, come è stato dimostrato da Cecilia Payne-Gaposchkin dell'Osservatorio del Collegio di Harward, sono state apprese, per la maggior parte, le cognizioni sull'aspetto fisico dell'universo: nella maggior percentuale, queste cognizioni sono passate attraverso lo sviluppo di nuovi ingegnosi accessori applicati ai telescopi e che permettono di selezionare, per analizzarle, le complesse onde emesse dai corpi celesti.

Semerau decise di affrontare la costruzione di qualcuno di questi accessori e quindi di cimentarsi nelle più complicate tecniche di osservazione che era necessario attuare usando questi. Si dedicò pertanto alla costruzione di un monocromatore, ossia di un dispositivo che artificialmente crea una sorta di eclisse del sole e permette al ricercatore lo studio dell'atmosfera che circonda il sole stesso.

Una volta costruito il monocromatore, Semerau comprese anche di essere pronto ad affrontare una delle più impegnative imprese dell'ottica, ossia quella della costruzione di uno spettrografo. Direttamente od indirettamente è questo un apparecchio che può funzionare come strumento di misura di distanze, di velocità, di spostamenti, come bilancia, termometro, e come laboratorio di analisi chimica. In più, tale strumento consente all'osservatore di studiare alcuni notevoli effetti di campi elettrici e magnetici.

Il principio di questo strumento è relativamente semplice:

in esso, la luce cade su di un elemento ottico che separa le varie lunghezze d'onda che lo compongono, ossia i colori, in un fascio a ventaglio, in cui le onde più lunghe occupano una estremità e, quelle più corte, l'estremità opposta. L'elemento incaricato per questa separazione può essere rappresentato da un prisma come anche da un reticolo di diffrazione (superficie trasparente sulla quale sono tracciate moltissime linee di estrema sottigliezza e ad uniforme sia pur minima spaziatura). Lo spettrografo viene migliorato installandovi un sistema di lenti od uno specchio concavo, che serve a concentrare la luce in arrivo e viene munito di una speciale apertura, nella forma di una sottile fessura. Quando i raggi della luce bianca, dispersi, sono portati a fuoco su di uno schermo, quale un rettangolo di cartoncino bianco, la fessura dà luogo alla produzione di una serie di immagini multiple così poco spaziate tra di loro da dare l'impressione della presenza di un nastro continuo di colore, che forma la scala completa cromatica, quale si riscontra nell'arcobaleno.

La spiegazione di questo potrebbe ricercarsi nel fatto che quando gli atomi e le molecole sono, in effetti, colpiti con un urto netto, da un martello immaginario delle dimensioni di un atomo, essi entrano in vibrazione proprio come degli strumenti musicali a percussione. L'orecchio non è affatto sensibile alle onde elettromagnetiche che sono prodotte e che invece sono percepite dall'occhio. Tutta la luce visibile e non visibile si ritiene che abbia origine in questo modo. Proprio come ogni campana, percossa, produce un suono diverso a seconda delle sue dimensioni e della forma, così anche gli atomi dei cento e più diversi elementi semplici e la miriade delle diverse combinazioni molecolari irradiano od assorbono radiazioni luminose di colore particolare. Lo strumento che i fisici usano per selezionare i colori presenti nella luce e quindi per identificare le sostanze che li hanno prodotti è appunto lo spettroscopio.

I colori si presentano come linee brillanti lungo il nastro iridato che viene veduto direttamente oppure viene osservato nella sua registrazione fotografica. Se la luce deve attraversare un gas a temperatura inferiore a quella presente all'origine della luce stessa, una certa porzione della energia della radiazione luminosa viene assorbita. Gli atomi del gas a bassa temperatura vengono infatti messi in vibrazione dalle onde luminose che li

attraversano, proprio come un diapason entra subito in oscillazione quando viene premuto il giusto tasto del piano. La dimostrazione del verificarsi di un tale assorbimento si ha sotto forma delle righe nere od oscure che attraversano, nel senso della larghezza, il nastro iridato dello spettro. Ne deriva che se si conosce la composizione della sorgente della radiazione lo spettrografo permette di identificare la natura dei gas freddi interposti tra la sorgente stessa ed il punto di osservazione e che per tale loro posizione determinano l'assorbimento. In più, con l'aumento della temperatura della sorgente, le onde emesse sono di lunghezza via via minore e lo spettro prodotto tende a divenire molto più intenso verso la sua estremità blu e violetta: come si vede, un'osservazione spettrale in determinate condizioni permette anche di accertare la temperatura della sorgente o dei gas attraversati.

Non è indispensabile che le linee caratteristiche di una determinata sostanza appaiano sempre nella stessa posizione nello spettro osservato: quando una sorgente di luce viene mossa in direzione del punto di osservazione si ha, per esempio, l'impressione che la sua lunghezza di onda sia alquanto ridotta, per un fenomeno fisico noto con il nome di « effetto Doppler ». In conseguenza, le linee spettrali di atomi in movimento in direzione del punto di osservazione sono spostate verso l'estremità blu o violetta dello spettro, mentre le linee degli atomi sono invece trasferite verso l'estremità del rosso dello spettro: la velocità dei corpi celesti può pertanto essere facilmente valutata osservando questa deviazione spettrale.

Quando un atomo viene ionizzato, come accade ad esempio quando esso risulta caricato elettricamente, diviene sensibile ad essere influenzato da un campo magnetico. Le sue linee spettrali possono risultare sdoppiate e si ha il fenomeno cosiddetto dell' « effetto Zeeman »; come i campi magnetici, anche gli intensi campi elettrici che si possono produrre lasciano un'analoga traccia della loro presenza sullo spettro.

Queste ed altre variazioni rispetto allo spettro normale forniscono all'astrofisico la maggior parte degli strumenti di indagine sulla natura delle stelle, delle galassie, delle nebulose e degli altri enormi componenti dell'universo. L'astronomo dilettante può ben difficilmente sperare di competere con osservazioni di

questo genere, specialmente di quelle condotte su oggetti celesti di debole luminosità; un'apparecchiatura ben costruita permetterà anche a questi di afferrare una notevole gamma di effetti, specialmente in relazione ai corpi celesti più vicini e dotati di maggiore luminosità. Come Semerau precisa, quanti si avventurino per le prime volte nella spettroscopia astronomica, faranno bene a condurre le prime esperienze sulla stella più vicina e luminosa, ossia sul nostro sole e, solo in un secondo momento, potranno tentare di spinger la loro osservazione più profondamente nello spazio.

Descrizione da parte di J. Semerau, della sua costruzione di uno spettrografo per l'esplorazione dei drammatici fenomeni sempre in corso di svolgimento sulla superficie del sole.

Coloro che considerino la possibilità della costruzione di uno spettrografo astronomico e siano disposti a limitare le loro osservazioni al sole, potranno ovviare a gran parte del lavoro e della fatica. A causa infatti della sua elevata luminosità una lente obbiettiva da 7,5 centimetri od uno specchio concavo di analoghe dimensioni saranno in grado di captare e quindi di utilizzare tutta la luce che interesserà per le esperienze stesse; il resto è impresa abbastanza facile. Molti dilettanti sono stati tenuti lontani da uno spettroscopio a causa della necessità, per alcune delle lavorazioni della costruzione, di torni, ed altre macchine utensili, non sempre disponibili nei laboratori casalinghi, o troppo ingombranti per esservi sistemate.

Circa quattro anni fa, ebbi l'occasione di studiare un progetto che sembrava in grado di soddisfare alle esigenze. La ditta per la quale lavoro, ossia la Compagnia Linde per i derivati dell'aria, sezione della Union Carbide and Carbon Corporation, necessitava per delle ricerche di carattere industriale di uno speciale spettroscopio, e nessuno degli strumenti disponibili sul mercato, sembrava in grado di soddisfare alle esigenze. La grande compagnia di strumentazione ottica, Baush e Lomb, trovò alfine un progetto che sembrava promettente; quando l'impresa alla quale esso era destinato venne condotta a termine, lo strumento venne adottato ed esso è attualmente in vendita sul mercato delle apparecchiature scientifiche. Il mio strumento, illustrato nella fig. 16, è ap-

punto una copia derivata dal progetto in questione, con tutte le semplificazioni possibili.

Il concetto basilare era stato proposto da H. Ebert, poco prima dell'inizio del presente secolo: lo strumento è del tipo ad alta dispersione, stigmatico e prevede l'impiego, come mezzo di diffrazione, di un reticolo detto appunto di diffrazione. Nella forma nella quale era stato concepito già allora, da Hebert, si trattava di un progetto in anticipo di almeno 50 anni rispetto ai tempi in cui comparve. A quell'epoca il reticolo piano di diffrazione era stato tracciato su di uno specchio metallico, lega al 68% di rame ed al 32% di stagno, la quale però presentava la tendenza ad ossidarsi annerendo. Questo fatto aveva compromesso l'intera idea che apparve allora inattuabile. Hebert aveva anche previsto uno specchio sferico nella funzione di collimatore e per dare luogo alla formazione della immagine. In epoche antecedenti al 1900, anche gli specchi ottici erano realizzati con la stessa lega metallica che era possibile lucidare di nuovo una volta che si era annerita per una sorta di ossidazione e solfurazione; anche se questa operazione non era certo delle più pratiche, l'operazione della rilucidatura non era possibile né pratica nel caso del reticolo di diffrazione. Per conseguenza, la brillante idea per un tale apparecchio rimaneva sterile in attesa di qualcuno che fosse riuscito a depositare sul vetro un sottile strato metallico, in grado di riflettere effettivamente la luce e che non presentasse una tendenza troppo marcata ad annerire. Fu quella l'epoca nella quale John Strong, attualmente direttore del Laboratorio di Astrofisica e di Meteorologia fisica presso l'Università Jaho Hopkins, mise a punto un metodo per la deposizione di un sottile strato di alluminio sulle superfici del vetro.

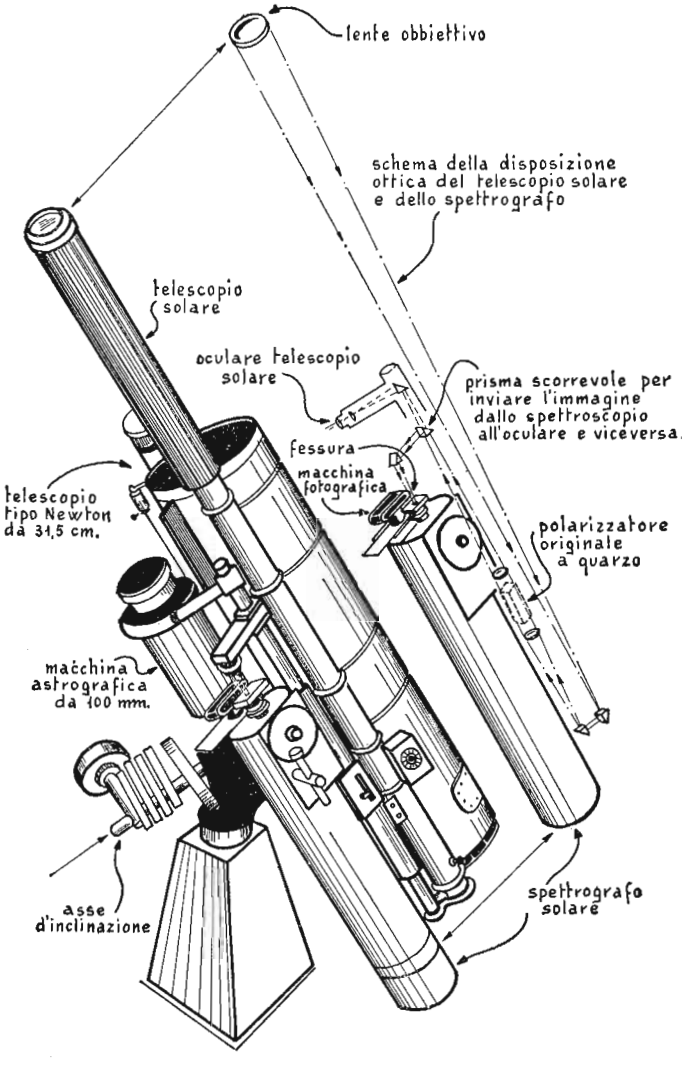
Il processo aprì la strada a molti perfezionamenti nel campo delle ottiche, di cui di notevole importanza è certo quello della produzione di un reticolo a riflessione di elevata precisione sul vetro alluminato. Prima di ricevere lo strato di metallo, il vetro viene molato e lucidato sino a che non presenti irregolarità di superficie di entità maggiori di 0.00025 millimetri. Sul velo metallico depositato viene tracciata poi una serie di incisioni diritte e parallele in grandissimo numero, sino a 1200 per millimetro. La spaziatura tra le varie incisioni viene mantenuta uniforme con una tolleranza dell'ordine di centomillesimi di mm. e parimenti costante viene mantenuto anche l'angolo di inclinazione delle

incisioni. L'operazione della esecuzione delle incisioni rappresenta senza dubbio una dei più esatti processi necessari, con cui è possibile solo la produzione di reticoli di costo elevato ed in quantitativi ristretti.

In conseguenza a questo, sino a pochissimo tempo addietro, erano realizzati ben pochi spettrografi che impiegassero un reticolo di diffrazione. Circa cinque anni addietro però, la Baush e Lomb presentava una serie di reticoli ottenuti mediante riproduzione a partire da un prototipo di estrema precisione ottenuto con i metodi normali e che sono stati denominati « repliche » nonostante che si tratti di elementi ottici essi stessi ineccepibili; le copie della Bausch funzionano ottimamente sotto temperature medie e non anneriscono che leggermente nella atmosfera che si riscontra normalmente nelle condizioni in cui lavora il dilettante astronomo. Le incisioni tra le righe sono diritte ed ugualmente spaziate come quelle del prototipo da cui derivano. L'angolo della inclinazione può essere controllato facilmente per fare in modo che l'energia spettrale sia concentrata nella massima parte in una determinata zona dello spettro stesso, rendendo così il reticolo in grado di operare nella maniera soddisfacente nella quale opera il prisma di vetro più comunemente usato negli strumenti commerciali. I reticoli replica, nonostante il loro prezzo sia assai inferiore di quello dei reticoli originali, hanno sempre un costo assai elevato; nondimeno, recentemente sono state messe a punto altre tecniche con le quali è stato possibile produrre e mettere in vendita a costi veramente accessibili, ossia di poche migliaia di lire, reticoli in grado di assicurare prestazioni, se non comparabili a quelle dei più costosi, almeno utilizzabili nella maggior parte delle esperienze.

Le altre parti dello spettrografo di Ebert, ossia lo specchio, la cellula, il tubo, la fessura ed il portalastre, dovrebbero costare nell'insieme non più di un comune telescopio di Newton da 20 centimetri ossia, tenendo conto dei prezzi correnti, non più di 60-70.000 lire. Non è improbabile poi che molte delle parti meccaniche ed ottiche possano essere acquistate presso qualche ottico come materiale d'occasione ricuperato da apparecchiature che, in genere, quasi tutti hanno a disposizione e che, dopo smontate, cedono volentieri ai dilettanti.

Niente vi è di segreto e di trascendentale nella concezione e nella costruzione del tubo principale e delle relative



16. Telescopio di Semerau, con la macchina per astrofotografia, filtro monocromatico e spettrografo, montati su di un unico supporto equatoriale, con avanzamento.

parti meccaniche: il primo può essere facilmente realizzato con del compensato, con l'aggiunta di piccole parti in colata di alluminio o di materiale forgiato, o profilato in funzione delle preferenze del costruttore, per quello che riguarda le lavorazioni meccaniche ed in parte anche in funzione delle sue possibilità. Se però questo accessorio deve essere montato lateralmente al telescopio sullo stesso suo tubo, il peso complessivo dell'insieme comincia a rivestire un valore importante.

La prima esigenza alla quale il sistema deve rispondere è quella della sufficiente rigidità e solidità, senza le quali gli elementi ottici non potrebbero essere mantenuti nella corretta posizione reciproca e nel necessario allineamento. Se lo spettrografo deve essere usato per ricerche di laboratorio, quali quelle di analisi di minerali, la lamiera di acciaio può essere usata con vantaggio come materiale costruttivo. Nel caso della sua utilizzazione in ricerche astronomiche invece, ci si trova dinanzi al problema di avere, al tempo stesso, la solidità, la rigidità e la leggerezza della struttura: un buon compromesso per la soluzione di questo problema è rappresentato dal duralluminio; il ferro era stato il materiale preferito per molte parti strutturali del complesso degli spettrografi di laboratorio, a causa del suo ristretto coefficiente di contrazione e di espansione termica, coefficiente anzi che si avvicina di molto, per tale materiale a quello del vetro di cui sono costituite le ottiche degli strumenti.

Quando gli specchi sono realizzati di Pyrex, può essere usato un buon ferro o della ghisa, allo scopo di compensare gli effetti della variazione della temperatura; nel caso degli strumenti ottici di tale sensibilità come sono appunto i telescopi e gli spettrografi, in cui delle frazioni minime di millimetro hanno l'effetto di compromettere una messa a fuoco od il puntamento dello strumento su di un lontanissimo corpo celeste, appare evidente come sia importante che tali variazioni, nel limite del possibile, siano prevenute; tra queste, di notevole importanza, sono appunto le variazioni aventi origine dalla dilatazione e dalla contrazione termica.

Gli elementi ottici del mio strumento sono sostenuti da un tubo della lunghezza di 112,5 centimetri e del diametro di 10,5 centimetri, come in fig. 17. Le pareti del tubo sono dello spessore di 1,5 millimetri. Lo specchio sferico, del diametro di 20 centimetri, ha una lunghezza focale di 113,5 centimetri; il reticolo è quadrato, di 5 centimetri di lato, e con-

tiene 600 linee per millimetro. La superficie più estesa delle scanalature profilate a dente di sega è inclinata a circa 20 gradi rispetto al piano del reticolo. La larghezza di ciascuna scanalatura è di circa 5.000 Angstroms, corrispondente ad una spaziatura di poco meno di 2×10^{-6} millimetri. Un reticolo di queste caratteristiche riesce a riflettere con efficienza le radiazioni aventi lunghezza di onda di circa 10.000 Angstroms, tra le quali rientrano quelle delle radiazioni infrarosse, impedendo che queste tendano a prendere la via dello strumento dove potrebbero dare luogo alla produzione di riscaldamenti non uniformi e a variazioni di qualcuna delle dimensioni, quando non addirittura alla produzione di correnti di aria calda, che causerebbero delle distorsioni nelle osservazioni. Anche le radiazioni di 5.000 Angstroms sono riflesse dal reticolo seppure con minore efficienza; esse pertanto lo attraversano dando luogo alla produzione di spettri detti « secondari » che cadono nella zona centrale della gamma visibile ossia il verde. In aggiunta a questo, si hanno anche spettri detti « terziari », prodotti dalle radiazioni aventi lunghezza di onda di circa 3.300 Angstroms, frequenze queste che cadono nella zona dell'ultravioletto prossimo il quale, come è noto, ha inizio con la lunghezza di 3.600 Angstroms.

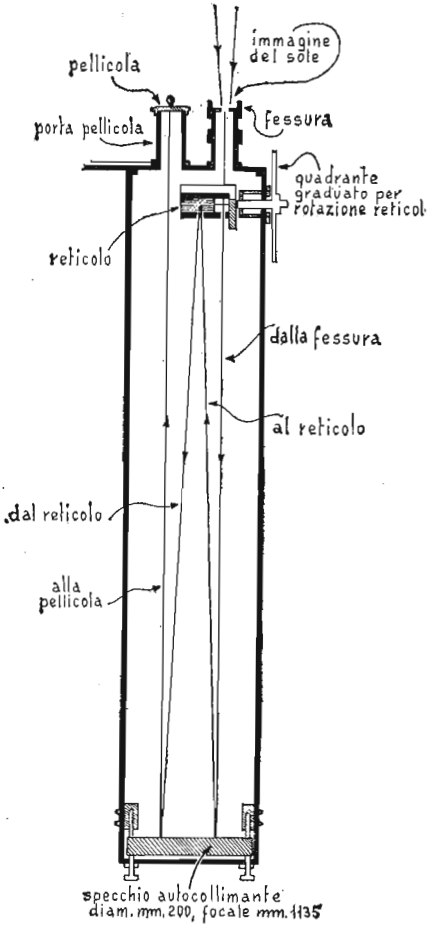
L'angolo alla quale una luce viene riflessa da un reticolo dipende dalla lunghezza d'onda delle oscillazioni che la compongono ed in particolare le onde più lunghe sono deviate in misura maggiore di quelle più corte, ossia di quelle in prossimità del violetto. Un reticolo adatto a rifiutare le radiazioni di 10.000 Angstroms, come quelle ora citate, riesce a disperdere su di un tratto della lunghezza di circa un millimetro un tratto di spettro della lunghezza di 14,5 Angstroms. Per questo lo strumento realizzato con un tale reticolo, come è appunto il caso dell'apparecchio da me descritto, dà luogo alla dispersione della banda della lunghezza di 2.200 Angstroms dello spettro, su di un tratto di pellicola sensibile (o su di uno schermo bianco), della lunghezza di ben 15 centimetri.

Il portafilm del mio spettrografo è progettato per accogliere rullini di pellicola a passo da 35 millimetri. La luce viene fatta entrare nel portafilm attraverso un'apertura rettangolare della lunghezza appunto di 15 centimetri e della larghezza di 1 centimetro. Basta pertanto muovere il portafilm lungo questa fenditura per potere effettuare ben tre esposizioni parallele, sia pure molto accostate, sullo stesso

tratto di film. Questa possibilità si dimostra conveniente in quanto permette l'esecuzione delle diverse prove necessarie per trovare quella attuata nelle migliori condizioni di esposizione. Il tempo di esposizione viene appunto valutato caso per caso sulla base delle precedenti esperienze, per un determinato tratto del film; l'intervallo viene adottato intero in una prima esposizione, doppio, nella esposizione della zona adiacente e dimezzato nell'altra zona parallela.

La parte dello spettroscopio, che rappresenta la maggiore difficoltà nella realizzazione è certo quella del giogo sul quale viene installato il reticolo: per gran parte, le prestazioni dell'insieme dipendono appunto da come tale giogo funziona: esso deve, ad esempio, permettere la rotazione del reticolo sino a consentirgli una variazione della sua inclinazione di un angolo di 45 gradi, e deve inoltre comprendere degli elementi di regolazione necessari per adattare l'allineamento del reticolo rispetto all'asse dello specchio concavo. La superficie del reticolo sulla quale si trova la serie di linee deve essere situata precisamente sulla linea centrale dell'asse del giogo, possibilmente con un elemento di comando che permetta la sua inclinazione nello spazio del giogo, sino a quando il piano delle linee possa essere reso parallelo all'asse stesso. Nella disposizione da me attuata, questa regolazione è ottenuta per mezzo di due viti che agiscono contro due molle antagoniste come appare nella fig. 18. La pressione necessaria per mantenere il reticolo nella posizione parallela viene ottenuta per mezzo di quattro molle situate dietro ad esso. Altre due molle a foglia (ricuperate dal meccanismo di carica di un grosso orologio da parete), una sopra l'altra, trattengono al suo posto il reticolo.

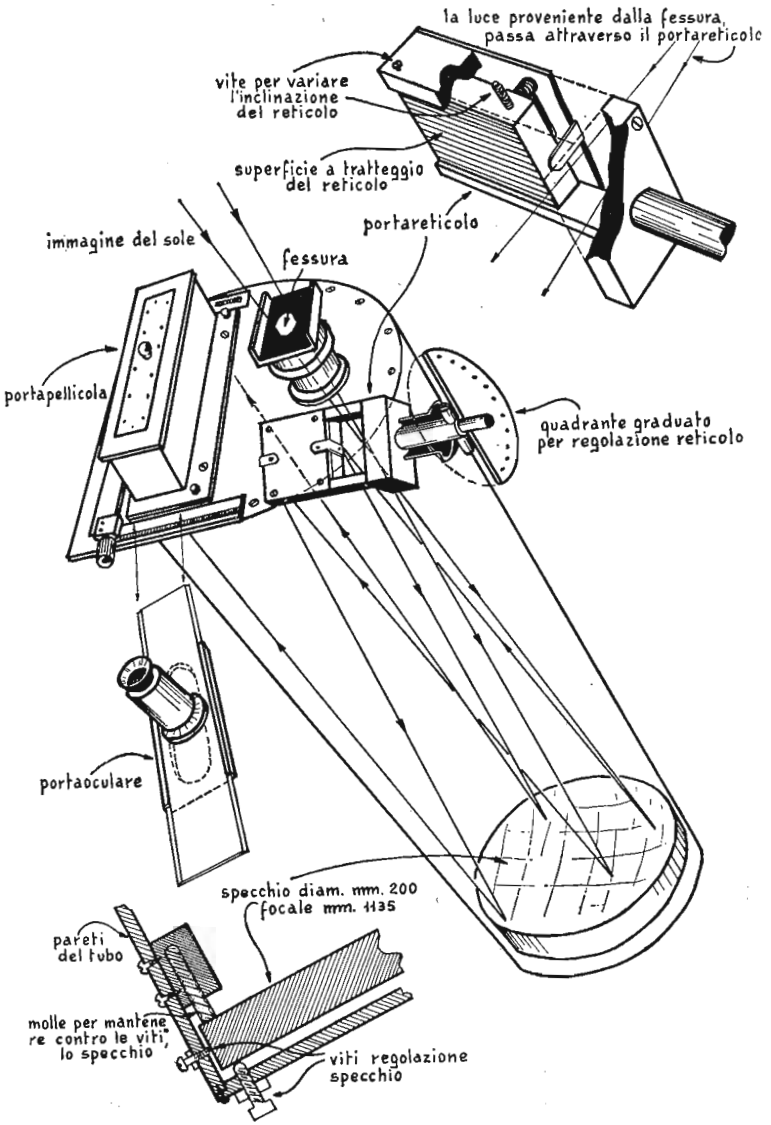
Il complesso è sostenuto da una piastra terminale dalla quale si diparte un braccio. Tale braccio ruota assieme al suo alloggiamento nell'interno di una coppia di cuscinetti a rulli aventi una certa conicità e può essere interessante segnalare come la maggior parte degli elementi di questo gruppo erano stati ricuperati da una pompa per la circolazione di acqua del sistema di raffreddamento di una vecchia autovettura. Una flangia alla estremità esterna dell'alloggiamento serve come punto di attacco del complesso del giogo al tubo principale: esso è mantenuto al suo posto da una serie di tre viti ciascuna, spaziate uniformemente per un tratto di 120 gradi di rotazione attorno alla circonferenza. Una serie di queste viti passa attraverso tre fori realizzati volutamente di dimen-



17. Schema e gruppo ottico di un astrospettrografo del tipo a diffrazione.

sioni maggiori del necessario; si impegna nelle filettature eseguite invece nel tubo, e serve così a tirare verso il basso il sistema mentre l'altra serie si avvita invece in fori filettati eseguiti nella flangia e giunge ad esercitare la sua pressione sul tubo provvedendo quindi a spingere verso l'alto il sistema stesso; è evidente che, regolando opportunamente le varie viti delle due serie, è possibile allineare perfettamente l'asse del giogo rispetto al tubo dello strumento.

L'alberino del giogo viene azionato, per mezzo di un si-



18. Costituzione dell'astrospettrografo con i dettagli della montatura del reticolo di diffrazione, in alto a destra e del supporto per lo specchio-obbiettivo, in basso a sinistra.

stema con un pignone a vite senza fine ed un ingranaggio da 36 denti, che porta una scala graduata ad intervalli di 10 gradi di rotazione, corrispondenti al passaggio di un dente ossia, in sostanza, una scala ripresa da un rapportatore di angoli. Anche il pignone a vite senza fine, ad una sola spira che aziona l'ingranaggio, è munito di una scala circolare da 0 a 100, ossia in 100 divisioni da cui dato il prodotto esistente di 36 × 100, quante sono le combinazioni totali, si ha il risultato di 3600, ossia dieci volte 360 gradi. Quindi, ogni divisione della scala da 1 a 100 corrisponde alla variazione di un decimo di grado della inclinazione del reticolo. Questo sistema si dimostra soddisfacente per regolare la posizione degli spettri ottenuti a fare in modo che essi siano proiettati come occorre sul vetro smerigliato per la messa a fuoco e per l'osservazione diretta, oppure sulla lastra o sulla pellicola sensibile installata nel portafilm; la posizione in questione non è però abbastanza precisa per stabilire con esattezza le lunghezze di onda delle radiazioni che interessano.

Tutti i reticoli piani, usati per la diffrazione, debbono essere illuminati da raggi paralleli: ne deriva che la fessura di ingresso dei raggi stessi e la lastra fotografica debbono giacere ugualmente sul piano focale dello specchio: piccole deviazioni da questa condizione ideale possono essere corrette operando lo spostamento verso l'alto o verso il basso, dello specchio.

Le linee spettrali fornite dallo spettrografo di Ebert sono verticali solamente quando il reticolo è disposto per l'osservazione delle serie prossime allo zero, mentre si inclinano via via di più a misura che il reticolo viene ruotato per portare sotto osservazione gli ordini più elevati di radiazioni. L'inclinazione delle linee può comunque essere compensata ruotando leggermente la fessura di ingresso dei raggi in direzione opposta, mentre si esegue l'osservazione delle linee attraverso un oculare od attraverso un vetro finemente smerigliato predisposto per l'osservazione lungo la fessura sulla quale, di norma, viene sistemato il portafilm. Da notare comunque che questo difetto si presenta con maggiore gravità e quindi è più difficile da correggere in quegli strumenti che siano muniti di un sistema ottico di focale molto corta.

La cellula che sostiene lo specchio concavo e gli elementi essenziali che servono per la regolazione di questa sezione, sono identici a quelli che si possono riscontrare nei telescopi convenzionali a riflessione. Se comunque non viene prevista

una cellula destinata ad accogliere lo specchio le viti per la regolazione sono fatte agire direttamente sul retro di questo, il che porta inevitabilmente al danneggiamento dello specchio stesso nella sua parte posteriore e ad una distorsione ottica, più sensibile nel caso di uno specchio di maggiori dimensioni. Conviene usare il numero necessario e sufficiente di tre viti, spaziate di 120 gradi di rotazione rispetto al diametro del fondo dello specchio: questa condizione è particolarmente importante quando sulle viti siano previste anche delle molle antagoniste del tipo a compressione; un numero di viti maggiore di tre porta quasi sempre al determinarsi, nella massa dello specchio, di torsioni capaci di dar luogo alla comparsa di aberrazioni e di disturbi alla normale osservazione.

Il portafilm o partalastre va munito di un sistema a cremagliera molto fine a 48 denti e con un pignone del tipo comunemente impiegato per lo spostamento laterale del soffietto delle macchine fotografiche professionali; ove vi sia la possibilità di scelta, occorre ricercare un sistema di pignone a cremagliera in cui l'operatore abbia una sensazione ben netta di ogni spostamento di un dente: questa disposizione comporta una piccola serie di prove e assicura all'operatore del complesso la possibilità di eseguire tre foto accostate di spettri su ciascun tratto della pellicola formato Leica. Quanti non siano in grado di procurarsi una tale cremagliera possono ancora ottenere condizioni analoghe con il semplice accorgimento di munire il carrello mobile del portafilm di un indice che si sposti su di una serie di segni di riferimento lungo la parte fissa dell'incastellatura, in maniera da fornire l'indicazione, con lo spostamento del carrello, del raggiungimento da parte di questo, delle tre posizioni corrispondenti alla esecuzione delle tre foto accostate.

Una normale cassetta portafilm o portapellicola non dispone in genere di alcun dispositivo atto al conteggio del film fatto passare con la rotazione delle manopole, per cui è opportuno prevedere in partenza una certa serie di prove dalle quali si possa apprendere a dosare la rotazione delle manopole stesse, per far scorrere solo il giusto tratto del film per portare, dinanzi alla fessura del sistema, la nuova pellicola da impressionare con il minimo spreco di materiale sensibile.

Il retro della scatola portalastre o portafilm è munito di un coperchio asportabile che chiude un'apertura sulla quale

può essere inserito, ogni volta che ciò sia necessario, un rettangolo di vetro smerigliato, per l'osservazione diretta od anche per la semplice messa a fuoco. La stessa apertura serve anche per accogliere una macchina fotografica da 35 millimetri, rendendo così possibile una soluzione conveniente per la esecuzione delle foto quando l'interesse per la ripresa sia confinato ad una ristretta regione dello spettro, come ad esempio, a quella compresa tra le linee H e K del calcio e la linea alfa dell'idrogeno. In più, sulla finestrella, può essere inserito un oculare su di una specie di slitta, così che esso possa esser fatto scorrere di fronte a tutta la lunghezza della apertura permettendo l'esame dell'intero tratto dello spettro che, come si ricorda, ha una lunghezza di ben 15 centimetri; possibilità, questa, estremamente desiderabile, non solo per l'osservazione diretta, ma anche per la semplice messa a fuoco del sistema ottico prima della esecuzione delle foto vere e proprie.

Una certa attenzione va dedicata al sistema di illuminazione della fessura: se lo spettrografo presenta un rapporto focale di f/20 (ossia la lunghezza focale dello specchio concavo divisa per il diametro effettivo utilizzato del reticolo), il cono dei raggi in arrivo dovrebbe avere appunto una sezione di f/20 e l'asse di questo cono dovrebbe anche essere parallelo all'asse dello specchio. La fessura opera molto similmente al piccolissimo foro che serve da obbiettivo per le macchine fotografiche senza lenti; per conseguenza, se i raggi del cono illuminato convergono ad un angolo di ampiezza maggiore di quello del rapporto focale del sistema, per esempio ad f/10, essi giungono a coprire sul piano nel quale si trova il reticolo un'area alquanto maggiore di quella nella quale si trovano effettivamente le linee a cui il reticolo stesso deve il suo funzionamento. In queste condizioni si avrebbe pertanto della luce dispersa, che potrebbe giungere al film senza subire il processo della diffrazione, dando anzi luogo alla produzione di annebbiamenti nel film stesso.

Un effetto analogo potrebbe essere determinato dalla mancanza di un perfetto allineamento dei raggi in arrivo, sebbene questa volta l'inconveniente sarebbe assai meno marcato. Schermi o diaframmi spaziati ogni 10 decimetri circa, per la intera lunghezza del tubo, avranno l'effetto di ridurre notevolmente l'effetto negativo prodotto dai raggi dispersi come quelli, ad esempio, che entrano nella fessura ad un angolo errato o che sono riflessi dal retro del reticolo in direzione

del film. I diaframmi comunque debbono essere progettati con cura o quanto meno, occorre una notevole serie di prove, per evitare l'inconveniente che essi determinino la formazione di una sola zona luminosa sul fotogramma registrato, piuttosto che la copertura dell'intera striscia della pellicola.

I componenti dello strumento sono messi insieme nel modo illustrato nella figura. Le regolazioni iniziali e l'allineamento degli elementi ottici possono essere attuati su di un banco di lavoro. Una conveniente fonte di intensa luce adatta alle prove può essere quella rappresentata da un arco elettrico fatto scoccare tra elettrodi di carbone arricchiti con ferro, od anche una forte scarica elettrica, continua, come quella che può essere prodotta da un trasformatore per insegne al neon fatta scoccare tra due grossi elettrodi di ferro, mantenuti abbastanza freddi perché non tendano a fondere troppo presto. Gli spettri della emissione del ferro sono stati determinati con grande precisione e le tabelle di spettroscopia segnalano le centinaia di linee che vengono prodotte da tali sistemi, e che vanno dall'ultravioletto a frequenza più elevata all'infrarosso di bassa temperatura ossia da solo 294 sino a ben 26.000 Angstroms. Alcuni tra coloro che siano alle prime esperienze potranno comunque dare la loro preferenza ad una lampada a vapori di mercurio, od a lampade a luminescenza, a causa dell'assai minore attenzione che tali sistemi di generazione di luce richiedono e per il fatto che la loro emissione avviene entro una gamma molto più ristretta di linee spettrali, il che molte volte può rappresentare una condizione preferibile in quanto l'identificazione delle linee stesse può risultare più facile. In ogni caso è comunque desiderabile che quanti si dedicano a queste ricerche si procurino, magari a prestito, dei testi di spettroscopia, dai quali possano rilevare gli elenchi di linee spettrali, allo scopo di effettuare dei confronti e per avere dei punti validi di riferimento, per la taratura.

Di recente, con il mio strumento, mi sono rivolto specialmente allo studio spettroscopico delle macchie solari: per effettuare uno spettrogramma di una macchia solare si tratta di puntare il telescopio, in modo che la immagine del sole cada proprio sulla fessura che rappresenta l'entrata allo strumento, poi si provvede allo spostamento entro limiti ristretti, della immagine, operando sui comandi appositi del telescopio. Nel caso della mia apparecchiatura, l'obbiettivo del telescopio dà luogo ad una immagine di dimensioni notevol-

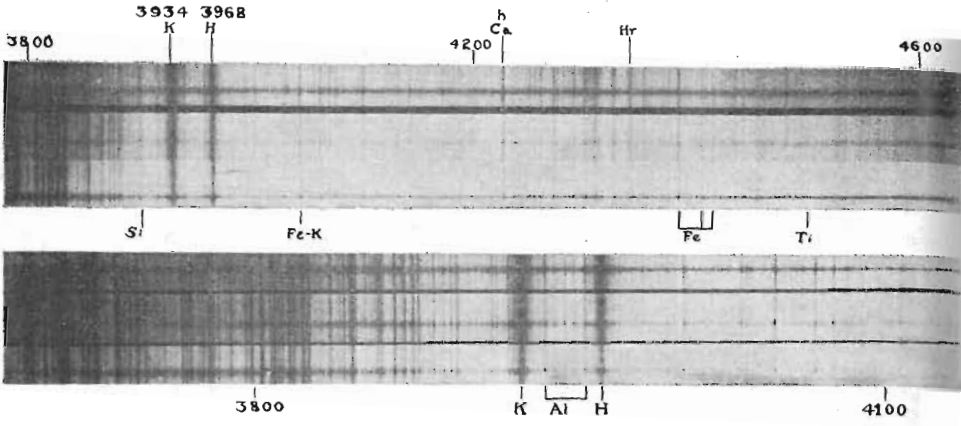
mente maggiori di quelle della fessura stessa per cui non è difficile, azionando i comandi del telescopio stesso, fare in modo che la macchia solare che interessa esaminare, risulti effettivamente centrata sulla fessura il che, del resto, si riesce ad ottenere abbastanza facilmente dopo aver acquisito un minimo di pratica in questa ricerca. Lo spettro che si ottiene in questo modo viene poi presentato all'oculare scorrevole oppure vien fatto cadere sul vetrino smerigliato: la macchia solare potrà essere osservata come se si trattasse di una stretta striscia oscura passante da una estremità all'altra dello spettro. Ottenuto questo risultato occorre effettuare le regolazioni necessarie e sufficienti, compresa anche la correzione della larghezza della fessura di entrata dei raggi sino a raggiungere la condizione nella quale le linee dello spettro appaiano con la massima definizione.

Le varie serie di gruppi spettrali possono poi essere portate in osservazione con la semplice lenta rotazione del reticolo in direzione degli angoli di maggiore ampiezza: lo spettro in alto della fig. 19, è quello della prima serie, mentre quello al disotto del primo è della seconda serie. Da notare come, sebbene nella seconda serie appaia un numero inferiore di linee, a questo non corrisponda affatto un miglioramento generale della risoluzione. La variazione di inclinazione del reticolo per fare apparire le serie più elevate, ha conseguenze analoghe, in questo strumento, a quelle che ha, in un telescopio, la sostituzione di un oculare con altro di maggiore potenzialità. Anche in questo caso si riesce ad ottenere una immagine di dimensioni maggiori, ma assai meno definita.

Si inserisce dunque la cassetta portafilm al posto dell'oculare e si effettuano le tre esposizioni sia per la prima come per la seconda serie di linee. In molti casi, la gamma di intensità luminosa tra le linee più oscure e quelle più accese, è tanto grande da superare la capacità da parte del materiale fotografico a seguirla registrandone il contrasto. Ad ogni modo, con tre esposizioni, una delle quali studiata per la luminosità intermedia e le altre due rispettivamente per la metà ed il doppio di tale valore, è possibile coprire l'intera gamma delle luminosità.

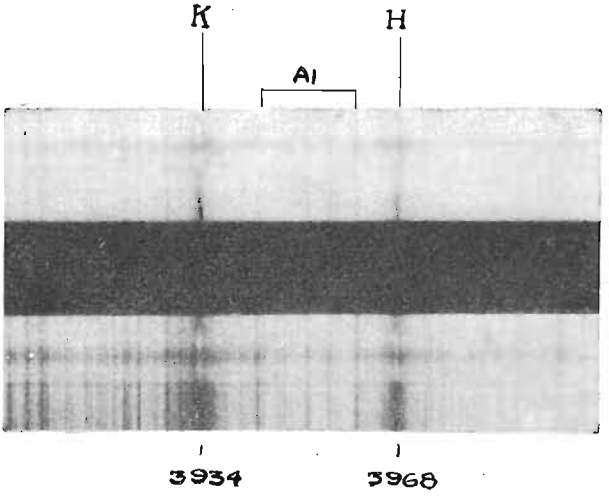
Oltre che caldissimi, i gas in prossimità di una macchia solare appaiono animati da uno stato di violenta turbolenza. In ogni istante alcuni degli atomi che li compongono, partono con grande velocità in direzione dell'osservatore sulla

terra, ed altri tendono invece ad allontanarsene: le linee spettrali presentano in casi come questi uno spostamento proporzionale da quella che sarebbe la loro posizione normale ossia dalle condizioni di riposo, sulla striscia dello spettro, per il prodursi di un fenomeno fisico noto con il nome di « effetto Doppler », con la conseguenza che si verifica una specie di dilatazione nella zona centrale delle linee dello spettro occupate dalla macchia solare. Per questo si producono delle strisce scure che si estendono attraverso la parte centrale dello spettro riprodotto nella fig. 19.



19. Spettrogrammi eseguiti da Walter J. Semerau sulle macchie solari. Lo spettro della prima serie è quello in alto; in basso, quello della seconda serie.

Una posizione di questo stesso spettro, fotografata sulla quarta serie di linee ed ingrandita per via fotografica, appare nella fig. 20. Essa comprende le linee H e K del calcio rispettivamente alle lunghezze di onda di 2933 e di 3960 Angstroms. Da osservare come un segmento che rappresenta la macchia solare tra queste due linee è spezzato. La traccia luminosa che occupa la zona nella porzione in cui quella oscura è spezzata, viene intesa come conseguenza di un fenomeno di emissione al di sopra della zona di assorbimento ed in questo caso, indica la presenza di calcio incandescente ad una altitudine di circa 160.000 chilometri al di sopra di una regione di materia a temperatura più bassa, situata nella macchia solare. Se infatti lo strato di calcio incandescente fosse stato



20. Macchie solari nella quarta serie spettrale, con interruzioni nelle linee K ed H, indicanti la presenza di calcio allo stato vaporizzato nello strato a 160.000 chilometri di quota al disopra della superficie del sole.

più basso, la sua emissione sarebbe stata assorbita da una inevitabile atmosfera solare e sarebbe stata registrata appunto come un linea oscura di assorbimento sulla lastra fotografica.

La mia interpretazione di questo spettrogramma intende avanzare l'ipotesi che una protuberanza solare che porta fuori del calcio incandescente dalle zone centrali del sole, si inarca verso l'alto al di sopra della macchia solare; pertanto, nella sua osservazione, noi guardiamo alla parte superiore di essa, come se stessimo guardando verso il basso.

La ricostruzione di eventi come questi, dissimulati a prima vista sotto il diverso aspetto delle miriadi di linee degli spettri, rappresenta un campo sempre nuovo di ricerca ed uno dei maggiori interessi per un astrofisico sia dilettante che professionista.

6

UN METRO COSMICO DALL'OMBRA DELLA LUCE STELLARE

Allorché la luna attraversa il cielo notturno copre dalla visuale con la sua presenza tutte le stelle che si trovano sul suo percorso, nello stesso modo con cui a volte determina l'eclissi del sole. Se si rileva e si valuta quantitativamente per via elettronica l'ombra in continuo movimento delle stelle, proiettata dalla luna sulla terra, essa può venire usata per localizzare con grande precisione punti geografici sulla terra stessa. In questo sottocapitolo viene appunto descritta la costruzione di uno strumento adatto all'osservazione di queste speciali eclissi lunari.

Dove mi trovo, con esattezza? Ecco una delle domande facili da formulare ma a cui è praticamente impossibile dare una risposta: in ogni caso, infatti, occorre adattarsi ad un valore approssimativo con una tolleranza comunque ancora accettabile. Nel caso però che sia possibile utilizzare nelle vicinanze un telescopio, si può trarne vantaggio per accertare con precisione assai maggiore la posizione della località, sia pure sotto forma di posizione geografica, in gradi di longitudine e di latitudine.

Neppure questa indicazione, all'apparenza esatta comunque, avrebbe potuto soddisfare il colonnello J. D. Adell ed i suoi colleghi del servizio geodetico dell'Esercito. Già i moderni metodi di assistenza elettronica alla navigazione, quale il Loran, avevano messo in evidenza alcuni dei più sensibili errori nelle registrazioni cartografiche. In particolar modo, si erano dimostrate inesatte le indicazioni relative alla posizione delle isole negli oceani: taluni importanti atolli del Pacifico sono risultati spostati di circa un chilometro, rispetto alla posizione che era

stata loro attribuita sulle carte. Il personale dell'ufficio del colonnello Adell, in collegamento con il 30° Gruppo Tecnico sotto gli ordini del colonnello William C. Holley, ha sviluppato un sistema abbastanza ingegnoso per l'esecuzione di rilevamenti geodetici e planimetrici con l'aiuto delle occultazioni delle stelle che spesso prendono origine dal passaggio della luna lungo il suo percorso. Valutando ad esempio, la durata dell'ombra di questi corpi celesti sulla terra quando la luna intercetta la luce delle stelle usate come riferimento, è stato possibile effettuare misurazioni di punti alla distanza di molte migliaia di chilometri con un'approssimazione di una diecina di metri ed anche di meno.

L'inconveniente nella valutazione delle distanze, secondo quanto afferma John A. O'Keefe, capo della Divisione per la ricerca e l'analisi del servizio cartografico dell'Esercito, si basa sul fatto che non si conosce quale sia effettivamente una linea retta atta a congiungere due punti. Ove si avesse a disposizione qualche metodo per localizzare il nostro Zenith, potremmo tracciare delle carte con qualsiasi approssimazione voluta. In altre parole, se alcune delle posizioni conosciute con esattezza sulla terra, fossero messe in correlazione con altre o con almeno una di esse, adottata come punto di riferimento, adottando magari qualcuna delle posizioni conosciute delle stelle quando queste siano allo Zenith, la relazione che si potrebbe stabilire darebbe ai cartografi la possibilità di tracciare una carta quasi perfetta dell'intero globo.

Nel suo principio, il sistema a cui si fa riferimento è semplice; si tratta solamente di attendere che una stella prescelta come riferimento si venga a trovare esattamente sulla verticale e stabilire l'orario esatto in cui questa condizione si verifica: tale puntualizzazione in fatto di tempo è indispensabile perché la relazione tra la superficie della terra ed il cielo che si trova al di sopra di essa varia continuamente, in funzione della rotazione della terra stessa; a questo proposito, come indicazione immediata e contemporanea dell'orario esatto su tutti i vari punti della superficie terrestre interessati all'esecuzione delle prove, viene in aiuto un sistema di cronometraggio istituito dalle reti radiofoniche americane ed in particolare dalle stazioni WWV sotto le indicazioni del Bureau of Standards, americano. Tali se-

gnali orario sono irradiati praticamente in ogni ora della giornata e tornano utili in quanto, tra l'altro, i segnali delle stazioni sono molto potenti e possono essere ricevuti facilmente anche in località assai distanti.

Lo strumento convenzionale che si usa per localizzare la posizione dello Zenith è rappresentato da uno speciale telescopio, atto al rilevamento del passaggio dei corpi celesti, od anche da una specie di sestante oppure da una speciale livella, che si basa su di un filo a piombo o sul suo equivalente, vale a dire su di una bolla di aria scorrevole in un tubetto di liquido. Naturalmente vi è un errore di approssimazione e ciò risiede appunto in questi elementi importanti dello strumento, a quanto O'Keefe precisa: sia il filo a piombo, come anche la bolla della livella, sono deviati dalla loro corretta posizione dalle irregolarità e disuniformità nella densità della crosta terrestre, nel punto nel quale si fanno i rilevamenti, e che possono dare luogo alla distorsione del campo gravitazionale terrestre. Sono stati, è vero, condotti dei tentativi per correggere caso per caso le deviazioni locali, « ma anche con questo espediente si sarebbe ben lontani dall'ovviare agli inconvenienti. Anche infatti se si riuscisse a valutare l'effetto della costituzione della superficie terrestre, sulla direzione della gravitazione » afferma Floyd W. Hough, capo della Divisione per il servizio geodetico « si avrebbe sempre la necessità di notizie relative alla costituzione ed alle caratteristiche del suolo, alle varie profondità; non di rado infatti, le variazioni di densità negli strati alle varie profondità possono essere notevoli ed, a volte, anche con aumenti e diminuzioni irregolari ».

Il personale di questo servizio dell'esercito decise dunque di stabilire le varie posizioni della terra cronometrando il momento dell'entrata in eclissi dei vari corpi celesti coperti dalla luna in movimento lungo il suo percorso nel cielo. Un metodo per utilizzare la luna come un vero e proprio strumento geodetico consiste nel fotografare la sua posizione in relazione alle stelle nel cielo che le fa da sfondo ad un determinato momento: è stato possibile, in questa maniera, ottenere dei punti fissi con un'approssimazione di un decimo di secondo di arco, il che significa alla localizzazione sulla terra di posizioni con un'approssimazione di circa 200 metri. Ad ogni modo, tenendo

presente che anche tale distanza è più che doppia di quella che può essere la larghezza di una normale pista di decollo e di atterraggio per grandi aerei, apparve ovvia l'opportunità di disporre di una precisione ancora maggiore. Il servizio cartografico dell'esercito si dedicò pertanto alla ricerca del sistema con cui migliorare la precisione nella determinazione dei punti fissi di riferimento, utilizzando appunto le eclissi determinate sui corpi celesti da parte della luna.

I migliori telescopi ora disponibili, quale quello a riflessione da 500 centimetri sul Monte Palomar ed i più grandi strumenti rifrattori ossia a lenti, hanno un potere risolutivo teorico notevolmente migliore di 1/10 di secondo di arco: uno dei loro inconvenienti, però, è quello di non essere abbastanza maneggevoli e leggeri da potersi portare nelle varie posizioni dove occorrerebbero per l'esecuzione dei rilevamenti; in più, il potere risolutivo di essi, quando si tratta di utilizzarlo in prossimità dei suoi limiti, presenta delle limitazioni di carattere pratico. imposte ad esempio dalle cattive condizioni di visibilità che localmente si possono verificare con tanta probabilità dalla distorsione che si verifica nel percorso ottico dei raggi attraverso il sistema a causa di variazioni di temperatura e simili. Al disopra di tutte le limitazioni, vi è poi quella della diffrazione, vale a dire la maggiore causa dell'ottenimento d'immagini poco nette, che prende origine dalla struttura ondulatoria della luce stessa. Poiché, infatti, le onde adiacenti che la compongono, interferiscono una con l'altra, la luce che proviene da una stella lontana non riesce a dare luogo alla produzione di un'ombra molto netta quando essa passa vicino al bordo della luna. Le onde della luce delle stelle, anzi, nel rasentare il bordo della luna, reagiscono tra di loro, divergono e giungono al fine sulla superficie della terra sotto forma di una serie di fasce chiare e scure che bordano appunto l'ombra prodotta dalla luna: la prima di queste fasce, che è anche la più marcata, corrisponde ad una lunghezza di circa 12 metri.

La soluzione escogitata da O'Keefe e dai suoi colleghi di lavoro è in effetti un nuovo sistema per l'utilizzazione di un telescopio normale in condizioni tali per cui questo strumento può offrire un potere risolutivo elevatissimo. Il gruppo di ricercatori realizzò in sostanza un insieme portatile riproducibile

dai dilettanti e che riesce a stabilire le posizioni lunari con una tolleranza di addirittura 5 millesimi di secondo di arco, in condizioni tutt'altro che eccezionali, corrispondenti a delle prestazioni quali si potrebbero ottenere da un telescopio a riflessione avente lo specchio del diametro di ben 20 metri, impiegato nelle condizioni ideali di ricerca. Un tale strumento, a parte un enorme potere risolutivo come quello che è stato segnalato, offre anche un numero di altre interessanti possibilità, come la misurazione diretta del diametro di molte stelle; riesce a separare e rendere visibili le coppie di stelle così vicine che anche i grandi telescopi a lente riescono a percepire solo come un singolo punto luminoso. Taluni osservatori credono che un tale dispositivo permetterebbe perfino l'esplorazione dell'atmosfera stratificata di una stella strato per strato. In più, elemento questo di grande interesse per scopi militari e geodetici, il metodo permette la misurazione di distanze tra due punti sulla terra sino a molte migliaia di chilometri, con un margine di approssimazione non maggiore di 45 metri. Si pensi poi che il telescopio che offre questi risultati veramente sorprendenti, ha un'apertura fisica di solo 30 centimetri, quasi comune per la maggior parte degli strumenti dilettantistici. Lo schema ottico di esso è quello di un Cassegrain sostenuto da un supporto tipo Springfield e si basa su di una disposizione ideata tempo addietro da Russel W. Porter, che era stato per molti anni uno dei più affermati produttori di strumenti astronomici per dilettanti. Il segreto dell'altissimo potere risolutivo dello strumento è da ricercarsi piuttosto nella maniera nella quale esso viene usato che su di una qualche vera particolarità nella concezione ottica del sistema. Il telescopio viene puntato in direzione della stella prescelta che giace sull'orbita della luna e viene orientato accuratamente sino a quando il bordo della luna che sta avanzando per il movimento di questa, giunge in contatto con la stella e comincia a coprirla. In funzione della distanza e delle dimensioni della stella, può occorrere sino a circa un ottavo di secondo di tempo, dal momento del primo contatto della luna con la stella, prima che quest'ultima sia coperta completamente.

Durante questo intervallo, il bordo della luna diviene, in effetti, parte dello stesso telescopio, come se si trattasse di un obbiettivo senza lente con una lunghezza focale equivalente di

300.000 Km. Quando il bordo della luna passa al disopra della stella, l'intensità della luce di quest'ultima comincia a decrescere e da questo istante le differenze di intensità della luminosità stessa nei vari istanti sono rilevate e misurate. Questo è come se sul tubo del telescopio della lunghezza immaginaria di 300.000 Km., fossero applicate delle serie di diaframmi a fessura di larghezza decrescente, essendo la dimensione della fessura diminuita via via che la luna avanza con il suo bordo sulla sezione del fascio ottico partente dalla stella osservata e che giunge allo specchio obbiettivo dello strumento. Il grande potere risolutivo dell'apparecchio dipende pertanto, in grande misura, dall'enorme lunghezza focale apparente di tutto il complesso.

I piccoli e progressivi gradini di diminuzione della luce dalla stella sono rivelati per mezzo di una fotocellula moltiplicatrice e quindi annotate su di un dispositivo di registrazione ad alta velocità. Nel suo principio, la misurazione delle distanze terrestri, per mezzo dell'effetto di copertura esercitato dalla luna sulle stelle in esame, si accosta molto alla tecnica che prevede l'utilizzazione dell'eclisse solare.

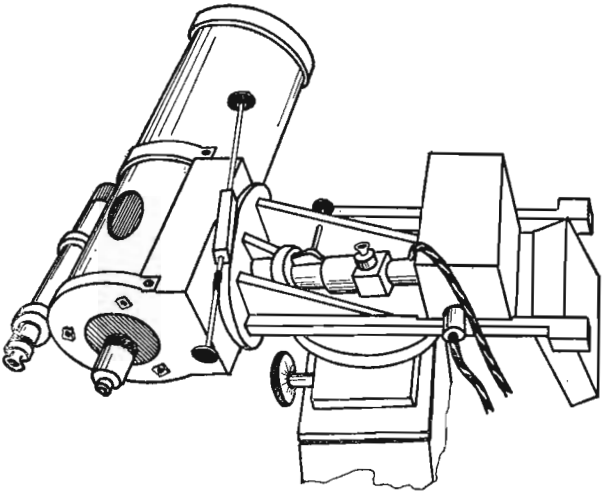
La sensibilità dell'occhio umano per un'eclisse di stelle da parte della luna, impedisce che questi fenomeni siano celebrati con la stessa ampiezza con la quale sono invece celebrate le vere eclissi di sole e di luna; nondimeno, il tubo fotomoltiplicatore presenta una sensibilità eccezionale ed è appunto in grado di rilevare il fenomeno stesso, e reagisce ad esso, valutandolo. Da aggiungere anzi che tali interessantissimi componenti fotoelettrici riescono a rilevare perfino il confuso chiarore che si produce per effetto della diffrazione lungo il bordo dell'ombra prodotta dalla luna. La striscia di diffrazione più evidente, ossia la prima, è, come detto in precedenza, di larghezza corrispondente a 12 metri, limite al quale sono legate le misurazioni attraverso questo sistema di eclisse stellare.

Il decadimento più repentino nella luce stellare, rilevato con le tipiche registrazioni, avviene in un lasso di tempo di 1,5 centesimi di secondo. Dato poi che la luna, vicino al meridiano, ha una velocità apparente di circa 0,33 secondi di angolo di arco ogni secondo di tempo, l'intervallo registrato, di 1,5 centesimi di secondo, deve corrispondere a circa 5 millesimi di se-

condo di arco, ed è questo appunto il valore del potere risolutivo dello strumento.

Qualsiasi astronomo dilettante che sia attrezzato con un supporto Springfield, con un telescopio a specchio di buona qualità e con apertura di 20 o più centimetri, può convertirlo per l'uso ad alto livello di risoluzione, con una spesa veramente modesta, in relazione al miglioramento che il sistema assicura allo strumento. Occorre una valvola fotomoltiplicatrice, un complesso di alimentazione a corrente continua, un amplificatore adatto ed un dispositivo per la registrazione in grado di operare ad elevata velocità. La fotocellula costa è vero molte diecine di migliaia di lire, se acquistata attraverso il normale mercato, ma va precisato che è possibile trovarne delle ottime, nuovissime, per cifre inferiori alle 10.000 lire, presso i rivenditori di materiale ricuperato da apparecchiature militari o « Surplus ». L'amplificatore deve essere naturalmente di tipo adatto per segnali di corrente continua con una resa lineare accettabile sino ad almeno 200 impulsi al secondo.

Il sistema di registratore dovrebbe essere del tipo a doppio canale, in modo che una delle penne tracci i segnali corrispondenti alla scansione del tempo e l'altra tracci invece i grafici relativi alla intensità della luce proveniente dalla stella adottata come riferimento. Può essere interessante l'impiego in questa funzione di un complesso di amplificazione e di registrazione con la penna segnatempo che si può ottenere come ricambio presso qualcuna delle case produttrici di apparecchi per elettrodiagnostica, in quanto un tale elemento si può riscontrare appunto in ciascuno dei canali di cui è composto ogni elettroencefalografo; non è impossibile, anzi, ottenere un vecchio encefalografo a molte penne, di cui qualche sezione sia inefficiente, mentre almeno uno dei canali di amplificazione e uno o più galvanometri a penna, siano ancora in buone condizioni: in ogni caso, per ottenere un tale complesso elettronico, conviene sempre interpellare qualche negozio di forniture elettromediche, come si possono trovare in tutte le maggiori città, consultando una qualsiasi guida telefonica. Per il completamento del sistema, occorre anche un complesso elettronico oppure semplicemente un filtro in grado di operare un taglio efficiente sulle frequenze di 400 e 600 cicli, frequenze audio

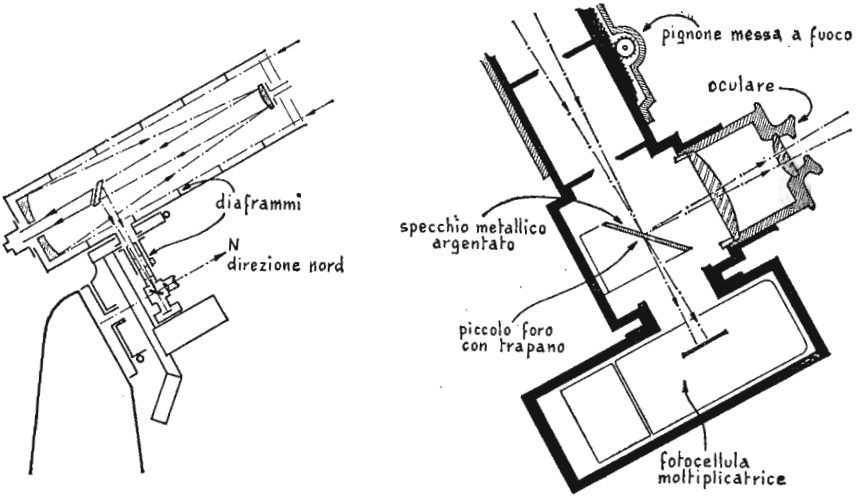


21. Montatura per telescopio, tipo Springfield munita di meccanismo fotoelettrico per l'occultazione.

queste, che sono irradiate come modulazione sulla portante dei segnali orario dalle stazioni americane WWV.

L'oculare deve essere munito di un alloggiamento speciale atto ad accogliere la fotocellula moltiplicatrice e nel quale sia praticato un piccolo foro del diametro di 0,2 millimetri, possibilmente eseguito su di una lastrina di ottone argentato o cromato in modo che serva da specchio, disposta nel tubo dell'oculare, con un angolo a 45 gradi, come mostra la fig. 22. Un oculare del tipo Ramsden viene messo a fuoco sul forellino; durante il funzionamento, lo specchio è visibile come un campo luminoso nel quale è presente, centrato, un punto molto netto ed oscuro, vale a dire il forellino citato poco sopra.

L'immagine della stella appare contro lo specchio come una macchia di maggiore luminosità sul campo già luminoso; in questa condizione è abbastanza facile orientare il sistema ottico in modo che questo punto luminoso sia fatto cadere esattamente sul punto oscuro, ossia dove si trova il puntino nero del foro. Una volta che il sistema sia stato orientato nella maniera cor-



22. A sinistra, schema ottico ed, a destra, dettagli costruttivi di un oculare munito di diaframma argentato e di valvola fotomoltiplicatrice.

retta, una certa porzione della luce proveniente dalla stella colpisce i bordi del foro, per cui si viene a formare, in corrispondenza di questo, un anello brillante e luminoso, con al centro il punto, nerissimo, del foro: anche questo anello, con la sua presenza e con la regolarità della luminosità in tutti i suoi punti, è di grandissimo aiuto per mantenere lo strumento nel puntamento voluto.

L'osservazione dell'occultazione delle stelle da parte della luna, ha raccolto in questi ultimi anni, un considerevole seguito di astronomi dilettanti. Negli Stati Uniti il loro lavoro è stato stimolato dalla Sezione Occultazione dell'Associazione Americana degli Osservatori delle Stelle Variabili, i cui uffici sono, salvo qualche variazione recentissima, al n. 4 in Brattle Street, Cambridge 38, Massachusets. I rilevamenti diretti e quelli fotografici dei membri di questa associazione sono inviati a Flora M. McBain, in Greenwich, Gran Bretagna, la quale è incaricata della supervisione dei rilevamenti, dal punto di vista matematico. I risultati delle osservazioni di molte occultazioni di stelle da parte della luna sono serviti per accertare alcune irregola-

rità presenti nel regime di rotazione della terra ed anche per migliorare la pianificazione delle orbite lunari.

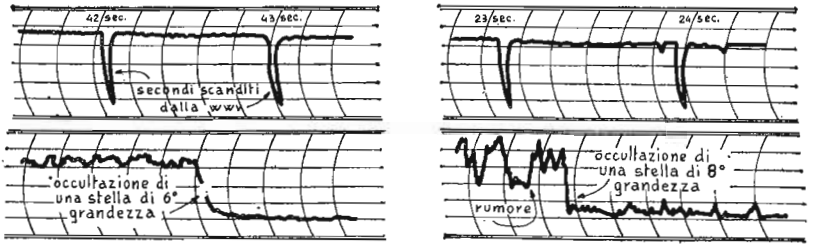
Dirk Brouwers, dell'Osservatorio dell'Università di Yale, ha condotto una esauriente indagine interpretativa sulle annotazioni di osservazioni raccolte nello scorso secolo e considera come un'occasione da non lasciare cadere da parte del gruppo quella dell'applicazione della nuova fotoelettrica per l'apporto di un sostanziale contributo fornito dall'Associazione in questione nei rilevamenti. La cellula fotoelettrica migliora il tempo di risposta da parte dell'occhio valutato a circa 1/10 di secondo di arco, aumentandolo di un fattore di cento ed anche più, permette anche l'eliminazione delle variazioni soggettive di sensibilità da parte dell'occhio stesso, e migliora così ulteriormente la valutazione del cronometraggio delle occultazioni delle stelle da parte della luna. In più la caratteristica ad elevato potere di risoluzione che è connaturata con la tecnica in questione, apre un campo interamente nuovo e pressoché inesplorato al lavoro di ricerca da parte dei professionisti ed anche dei dilettanti astronomi. Come il prof. Brouwers precisa, l'occultazione stellare proprio come accade per le eclissi solari, può essere osservata in certe regioni ed in epoche particolari; ne deriva l'opportunità dell'allestimento di una rete di dilettanti astronomi in ogni parte del mondo, attrezzati per l'esecuzione di rilevamenti in questo aspetto dell'elevato potere di soluzione, in maniera che, in qualsiasi epoca ed in qualsiasi parte del mondo, sia sempre disponibile qualche dilettante in grado di trarre vantaggio da una determinata occultazione stellare per l'esecuzione di rilievi che sarebbe impossibile condurre altrimenti, anche con i più grandi telescopi della California meridionale.

Un serio fattore negativo che impedisce l'utilizzazione delle intere possibilità dell'aumentata precisione nei rilevamenti, almeno al momento attuale, è rappresentato dalla superficie della luna, la quale come è noto presenta delle irregolarità, a volte veramente marcatissime. Se infatti non si provvedesse, nei calcoli eseguiti, un certo margine, appunto per queste irregolarità, la posizione risultante della luna potrebbe essere di frequente alterata di diversi decimi di secondo di arco; se capitasse nell'osservazione di vedere una stella, esaminata mentre viene occultata dal bordo della luna proprio dove si trova sulla sua

superficie una elevata cima montuosa, oppure una profonda vallata, in casi estremi, potrebbe accadere che i risultati ottenuti fossero errati di un valore quantitativo sino a due secondi di arco. Un nuovo studio sulle irregolarità della superficie lunare considerate da questo importante punto di vista è attualmente in corso, eseguito da C. B. Watt, presso l'Osservatorio Navale degli Stati Uniti, a Washington e si prevede che sarà presto portato a termine: esso dovrebbe rendere possibile la correzione degli errori in questo senso, mediante una accurata taratura della sensibilità del complesso fotoelettrico.

Nella fig. 24 sono illustrate due curve tipiche, relative all'occultazione da parte della luna rispettivamente di una stella di sesta e di una di ottava grandezza. Si noti l'irregolarità specialmente nella curva prodotta dalla stella più debole: tale fenomeno è dovuto ad una sorta di « rumore », termine questo preso a prestito dalla terminologia radioelettrica, per indicare le fluttuazioni irregolari della corrente di un complesso amplificatore. Il livello del « rumore », infatti, aumenta quando il comando che presiede al controllo del guadagno o del volume dell'amplificatore, viene elevato allo scopo di compensare il minore livello del segnale presente all'entrata. Il rumore o disturbo avente origine nella fotocellula moltiplicatrice (che ne è appunto la fonte principale), può essere ridotto notevolmente con il sistema di intercettare l'attività termoionica di un tale tubo, che si può attuare mantenendo durante i rilevamenti la fotocellula stessa a temperatura bassissima, con frammenti di ghiaccio secco distribuiti tutt'intorno al suo bulbo, eccettuata la zona che si trova di fronte all'elettrodo primario fotosensibile. Il brusco picco verso il basso, presente nelle due curve, indica l'intervallo nel quale l'occultazione della stella osservata ha avuto luogo. La presenza di una certa serie di gradini è da imputare al citato effetto indesiderabile apportato dalla fascia di diffrazione. Nel caso di corpi celesti di grandissime dimensioni, come ad esempio, Antares, l'effetto delle dimensioni stesse, può essere rilevato dalla tendenza della curva a subire una sorta di appiattimento.

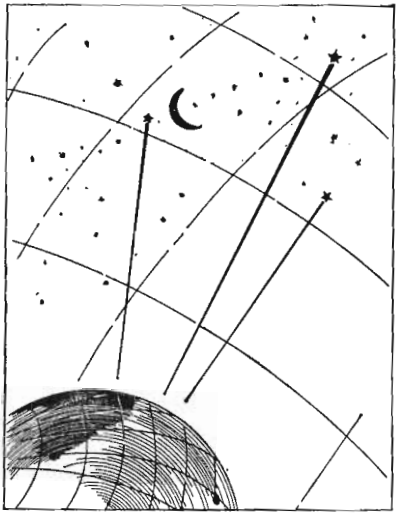
Quando si verifica l'occultazione di una stella doppia, si ha per prima cosa un primo picco verso il basso della curva, indicante l'occultamento della prima delle due stelle, quindi si ha



23. Grafici di occultazione registrati automaticamente dal sistema; appare evidente il sottofondo comparativo di rumore di una stella di 6ª grandezza, rispetto a quello di una stella di 8ª grandezza.

un tratto relativamente piano della curva al quale succede il secondo picco verso il basso, indicante che anche la seconda stella della coppia esaminata è passata in occultazione: dalla durata della porzione piana compresa tra i due picchi del caso citato in precedenza, è possibile stabilire la distanza esistente tra le due stelle della coppia. Talune curve di Antares e di stelle di dimensioni altrettanto grandi presentano delle piegature e delle torsioni che sembrano essere prodotte dalle zone oscure e luminose del disco delle stelle stesse, come anche dallo strato circostante dell'atmosfera stellare che regna attorno ad esse. La corretta interpretazione di queste particolarità nelle registrazioni, comunque, è ancora considerata una questione aperta per i ricercatori, prova anche questa dell'opportunità che il maggior numero possibile di astronomi dilettanti si dedichino in qualsiasi parte del globo a questo genere di rilevamenti, della massima importanza.

Vi è assai più che una semplice probabilità che, nel corso delle ricerche ci imbatteremo con qualche cosa che certamente non ci attendevamo di incontrare, dice O'Keefe. Stiamo adesso esaminando le superfici stellari con apparecchiature dotate di un potere risolutivo assai maggiore di quello che sino ad ora era stato disponibile. Certamente scopriremo molte stelle binarie, a piccola spaziatura; forse ci incontreremo con stelle dotate di una atmosfera speciale e con altre particolarità dell'universo. Nel corso della occultazione delle



24. Posizione relativa della luna rispetto alle stelle ed allo Zenith.

stelle molto luminose avremo infatti anche la possibilità di individuare delle stelle vicine, poco luminose e che per questa loro differenza non erano sino ad ora state rilevate. Credo proprio che nessuno che si dedichi anche in maniera dilettantistica a questo genere di ricerche potrà perdere una delle tante occasioni che gli si presenteranno per apprendere qualche importante notizia e forse, a volte, tale informazione potrebbe corrispondere a qualche cosa di veramente eccezionale.

Incidentalmente va anche detto che qualsiasi dilettante, laureato o meno, che sia veramente interessato a queste tecniche, potrebbe mettersi in contatto con qualcuno dei migliori osservatori nazionali o di altre nazioni, in vista di una eventuale assunzione od almeno di una ulteriore corrispondenza che gli dischiuda le porte degli osservatori stessi, e gli permetta di eseguire sugli strumenti complicatissimi, rari e costosi, esistenti presso i laboratori stessi, quelle ricerche che gli stanno a cuore.

Sotto molti aspetti, l'indagine per via fotoelettrica dell'occultazione stellare sembra il sistema più vicino a quello perfetto: infatti, una visibilità mediocre nella diffrazione eventual-

mente presente nello strumento che viene usato, non ha il minimo effetto sull'elevato potere risolutivo dello strumento; inoltre il sistema si dimostra altrettanto buono quando l'occultamento avviene su di una stella che si trovi sotto il bordo inferiore della luna come anche se la stella stessa si trovi invece al disopra del bordo superiore di essa.

L'intero sistema — dice O'Keefe — fa pensare ad un giuoco di magia, nel quale il classico coniglio viene estratto dall'altrettanto classico cilindro; appare anche sorprendente che un metodo così potente per l'esplorazione di grande precisione del cielo, sia rimasto per tanto tempo senza alcuna applicazione; ad ogni modo, la tecnica rimane integralmente a disposizione degli astronomi dilettanti e professionisti della nostra epoca, e certamente i primi ed i secondi, spenderanno diverso del loro tempo nel tentarne tutte le possibili applicazioni.

Non è stato il nostro gruppo ad inventare la tecnica ora descritta, la quale era stata presentata da K. Schwarzchild in Germania e da A. E. Whitford, negli Stati Uniti. Forse, la sua poca diffusione sino ad ora, è da ricercarsi in qualche pregiudizio da parte dei profani circa l'efficienza del sistema stesso. Ad ogni modo, anche se è possibile incontrare solo persone che non credano alle possibilità della tecnica, e soprattutto a qualche cosa che viene loro presentata dinanzi agli occhi, varrà sempre la consolazione di averle intrattenute con delle note che si ritengono interessanti, e che per lo meno, sono state interessanti per la persona che le ha pronunciate.

7

UNA MERIDIANA UNIVERSALE

Si ruoti un mappamondo con sospensione cardanica, sino a quando il punto su di essa, corrispondente alla posizione geografica della località nella quale si sta facendo il rilievo, venga a risultare esattamente nel punto più elevato della sfera stessa, indi si faccia allineare il suo asse con la stella Polare: in queste condizioni si ha già a disposizione una sorta di meridiana atta a fornire indicazioni delle stagioni, delle zone nelle quali si ha il tramonto e l'aurora, a parte naturalmente l'orario del giorno, quando vi sia disponibilità di sufficiente luce solare. Richard Sutton, professore di fisica all'Istituto di Tecnologia della California, fornisce dettagli e particolari, per l'effettiva disposizione da adottare nella sistemazione del globo; egli chiarisce inoltre alcuni fattori atti a rendere comprensibile il movimento apparente del sole rispetto alla terra.

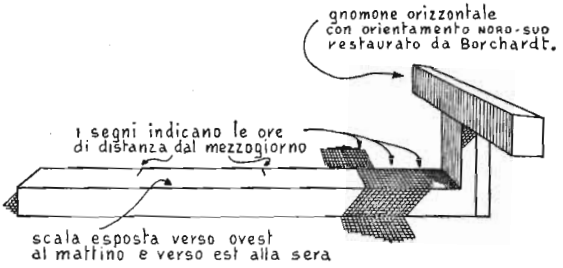
Se si lascia in un cassetto una semplice palla da tennis per un'intera settimana senza mai toccarla, al termine dei sette giorni essa avrà compiuto ben sette intere rotazioni su se stessa. Questo semplice fenomeno, che di solito sfugge alla normale osservazione, può essere comunque messo a buon profitto. La maggioranza delle persone interpellate in tale senso direbbe infatti che la palla non si era mossa assolutamente dal suo posto, eppure essi dovranno certamente ammettere che nonostante l'apparente immobilità generale, la terra gira sul proprio asse polare. Per questo anche la palla che si trova posata sulla terra, anche se indirettamente, viene fatta girare in conseguenza, rispetto allo spazio libero circostante alla terra; in particolare il regime di questa rotazione è lo stesso della rotazione della terra,

vale a dire un intero giro (360 gradi nelle 24 ore), ossia 15 gradi ogni ora. Se dunque colleghiamo il fatto che la sfera ruota completamente su se stessa con un giro ogni giorno, è evidente come sarà possibile adattare qualsiasi mappamondo alla funzione di meridiana universale, che può fornire anche altre indicazioni attorno alla luce solare, al movimento della terra nello spazio e le condizioni di luminosità che si possono prevedere presenti in località distanti dal punto di osservazione. Il secondo elemento è il fatto che la luce che, provenendo dal sole, cade sulla terra, giunge sul nostro pianeta con le caratteristiche di un fascio di grandissima sezione ma formato da raggi sostanzialmente paralleli, anche se eventualmente oscillanti su piani diversi tra di loro. A causa della notevole distanza del sole dalla terra, ossia di più di 156 milioni di chilometri, anche gli estremi di un diametro ideale fatto passare attraverso il centro della terra possono essere colpiti solo da raggi provenienti dal sole che presentano, al massimo, una deviazione di solo 5/1000 di grado; ciò sta a significare che l'angolo delimitato da una linea della lunghezza di 12.800 Km. circa, quale è la dimensione del diametro terrestre, da una distanza di appunto 156 milioni di chilometri, sarà dell'ampiezza di solo 1/200 di grado, vale a dire, dei citati 5/1000 di angolo; più avanti apparirà evidente l'importanza di questo fatto.

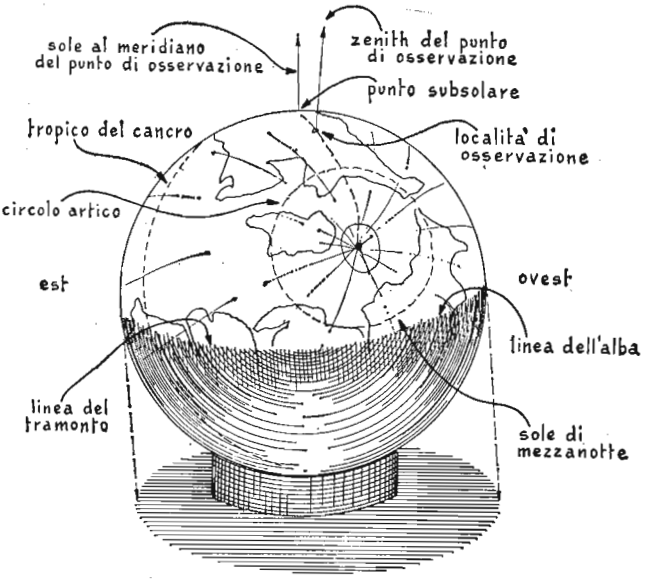
Le norme da adottare per disporre nella posizione migliore il globo o mappamondo sono semplici e facili da seguire. Occorre in effetti che esso sia orientato con esattezza e stabilità come se si trattasse di una copia esatta della terra, sospesa nello spazio, vale a dire con il suo asse polare parallelo all'asse della terra ed in più, con il punto geografico stampato sul mappamondo corrispondente alla località nella quale si sta eseguendo la realizzazione fatta risultare sulla sommità del globo ossia sul punto più alto di questo. Per prima cosa, si ruota il globo sino a quando il suo asse venga a giacere sul meridiano che interessa la zona nella quale si conduce l'esperienza, rispetto all'effettivo piano Nord-Sud, facile da trovare osservando semplicemente l'ombra proiettata da un oggetto verticale, piuttosto sottile e diritto, nell'ora esatta del mezzogiorno, oppure osservando la stella polare in una nottata chiara od ancora consultando una bussola magnetica. In questo ultimo caso però, occorre tenere

presente il coefficiente di correzione esistente nella zona, che va applicato sul valore trovato sul quadrante dello strumento stesso, in quanto il polo Nord magnetico è alquanto distante dal punto nel quale si trova il vero polo Nord geografico. A questo punto occorre poi ruotare il globo sul suo asse sino a quando il circolo di longitudine che passa sulla zona nella quale si conduce l'esperienza, giaccia esattamente sul meridiano appena trovato. Infine si tratta di variare l'inclinazione dell'asse del globo attorno ad una linea orizzontale da Est ad Ovest, sino a quando il punto del mappamondo nel quale si trova la località in cui si sta eseguendo l'esperienza risulti esattamente sul punto più alto. Ove queste tre operazioni saranno state eseguite correttamente, l'anello del meridiano, che collega i poli del globo, risulterà giacente con esattezza sul piano Nord-Sud verticalmente ed una linea tracciata dal centro della sfera sino al punto che rappresenta lo Zenith della località nella quale si sta operando, passerà esattamente sulla località stessa, rappresentata sul mappamondo.

Si osserva poi il globo tenuto in questa posizione e si lascia alla rotazione della terra di compiere il resto dell'esperienza. Ciò evidentemente presuppone della pazienza, in quanto, l'ansia di qualcuno nel conoscere tutto quanto il mappamondo può narrare della nostra terra, potrebbe indurlo ad imporre al globo stesso una rotazione più veloce di quella naturale della terra: in effetti, occorre un anno intero, perché il sole, illuminando il mappamondo, riesca a fornire agli sperimentatori tutte le informazioni a cui essi siano interessati, prima di concludere la sua storia e ricominciarla quindi da capo.



25. Meridiana egiziana del periodo Thothmes III°, 1500 anni av. C.



26. Meridiana sferica: visibile il polo Nord, il 21 di giugno.

Quando si osserva il mappamondo predisposto nel suo corretto orientamento, ossia perfettamente inclinato ed immobile, sarà possibile osservare per prima cosa come metà della sfera di esso sia, in effetti, illuminata, mentre la metà opposta di esso, rimane in ombra: da questa prima osservazione abbiamo già una rappresentazione tangibile del fatto che, sulla terra, in ogni momento della giornata ed in qualsiasi epoca dell'anno, si possono sempre distinguere due metà, una delle quali in ombra ed una illuminata, riproducenti in sostanza, le condizioni del giorno e della notte che si verificano sulla terra. È da notare che non è sempre la stessa zona che rimane illuminata e la stessa che rimane oscura: perfino dopo una sola ora trascorsa da quando è stata eseguita la prima osservazione e constatazione, si può rilevare come il cerchio immaginario che rappresenta la linea di confine tra la zona in luce e quella in ombra si è spostato in un certo tratto in direzione dell'Ovest geografico ed, in particolare, la sua intersezione con il piano dell'equatore

si è alterata di un angolo di circa 15 gradi in direzione dell'Ovest.

Dalla parte dell'anello sopra citato, ad Ovest di chi stia eseguendo l'osservazione, è come se il sole sorgesse, come si può notare dal progressivo avanzamento della illuminazione in tale zona, mentre sul lato Est, rispetto al solito cerchio che rappresenta il confine tra zona in luce ed in ombra, il sole sta tramontando. Da questi fenomeni sarà già possibile, ove lo si preferisca, effettuare una specie di conteggio delle ore trascorse tra il locale meridiano e la linea lungo la quale avviene il tramonto, e riuscire anche a valutare con precisione per quante ore ancora si potrà contare sul sole alto sull'orizzonte, in quella determinata giornata. Oppure, sarà possibile, guardando verso Ovest, accertare a che ora circa il sole sorgerà su di una determinata località degli Stati Uniti, sul Pacifico. Osservando giorno per giorno il globo sarà anche possibile osservare il lento spostamento del cerchio di confine tra le zone in luce ed in ombra, verso Nord o verso Sud, a seconda dell'epoca dell'anno nella quale i rilievi in questione sono condotti.

Si dedichi poi un poco di immaginazione ed uno sguardo al mappamondo mentre questo giace esposto al sole, supponendo che questo avvenga in quei giorni di giugno durante i quali il sole si trova pressoché allo Zenith delle « isole di sogno », ossia delle Hawaii.

La scala del globo mostrerà come in tali condizioni alle 9,30 pomeridiane vi è ancora luce diurna, in Islanda, mentre all'estremità Nord della Norvegia brilla il sole di mezzanotte. Nello stesso momento, la zona continentale degli Stati Uniti si trova quasi tutta nel periodo di tempo compreso tra il primo ed il tardo pomeriggio, con le ore sei a New York e le ore 3 ugualmente pomeridiane a San Francisco. La metà più ad Est del Sud America si trova già avvolta dalla lunga notte del suo inverno. Sempre allo stesso momento, il sole si sarà appena levato nella Nuova Zelanda sull'alba del giorno successivo, e lo stesso sarà accaduto in Australia, e la maggior parte della Cina e della Siberia saranno illuminate dal sole appena sorto, in lento progresso all'orizzonte; il Giappone, invece, avrà già avute circa quattro ore di sole. L'Alaska starà invece godendosi le ore di punta di una lunga giornata di estate, con il sole altissimo

nel cielo. Una località qualsiasi, ad una certa distanza da Honolulu, quale ad esempio, Seattle, sarà in anticipo di circa due ore solari sulla Honolulu stessa, nel periodo centrale di una giornata solare di ben 16 ore, mentre Sidney, in Australia, si trova appena all'inizio della sua giornata che sarà illuminata da dieci ore soltanto di sole.

A questo punto non occorrerà trovarsi ad Honolulu per vedere cosa in effetti stia accadendo: il mappamondo, con lo speciale adattamento che è stato eseguito su di esso, ci fornirà tutte le indicazioni a questo proposito, che ci occorreranno, qualunque sia la località nella quale ci si trovi nel condurre queste ricerche: dovunque, purché la sfera sia stata orientata in funzione delle istruzioni fornite più sopra, tenendo presente che pur essendo sempre le stesse le norme per l'orientamento, in effetti la rotazione e l'inclinazione del globo variano da località a località.

Volendo, si può usare il sistema per seguire l'evoluzione della illuminazione terrestre da parte del sole lungo le varie epoche dell'anno. Tre mesi dopo fatto il primo rilevamento, ad esempio, quando il sole sarà tornato in vicinanza dell'equatore astronomico, e quando esso passerà giorno per giorno lungo lo Zenith dell'equatore terrestre, vedremo l'anello di confine tra la luce e l'oscurità ruotare non disordinatamente ma come se fosse imperniata sull'asse polare del nostro globo. Questa sarà appunto l'epoca degli equinozi, in cui ogni punto della terra risulta ogni giorno, per 12 ore illuminato e per 12 in ombra. Il 21 Dicembre invece, il sole avrà assunta la sua posizione più lontana nella direzione Sud, e così mancherà d'inviare il minimo raggio di luce sul Circolo Polare Artico, mentre illuminerà completamente la zona compresa nel Circolo Polare Antartico. Da questa sua estrema posizione verso Sud, il sole riprende il suo percorso in direzione del Nord con un progresso che può apparire troppo lento per quanti si trovino nelle zone più settentrionali ed attendano l'arrivo della primavera. Il 21 Marzo, comunque, l'astro avrà raggiunto nuovamente l'equatore e lo troveremo nelle condizioni cosiddette dell'equinozio d'inverno, che rappresenta il più importante punto di riferimento per gli astronomi. Per molti secoli questo era stato adottato come data d'inizio dell'anno. Solo in epoca relativamente

recente, ossia nel 1752, il Dicembre cessò di essere il decimo mese dell'anno (da cui il nome). Il 1° Gennaio 1752 era la prima volta che l'anno iniziava appunto dal Gennaio e non dal Marzo, in Gran Bretagna e nelle colonie americane. All'equinozio d'inverno in Marzo, vi fu un'aurora che durò 24 ore, al polo Nord, ed al polo Sud della stessa data vi fu un tramonto della stessa durata.

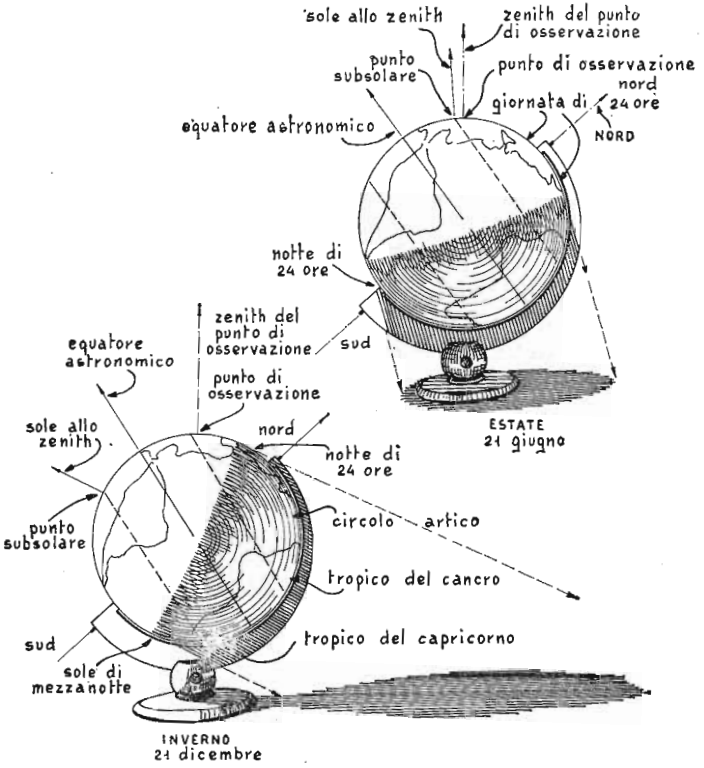
A questo punto, con il passare dei mesi, si troverà che il 21 Giugno, l'anello di confine tra luce ed oscurità, si sarà spostato sino alla sua posizione più a Nord. In queste condizioni, la luce del sole mancherà assolutamente di raggiungere la zona del Circolo Polare Artico, mentre inonderà le regioni al di sopra del Circolo Artico ed, in particolare, la zona più ristretta del Polo Nord. All'ora di mezzogiorno di quel giorno, sarà possibile avere un esempio di come gli abitanti delle zone situate su di un meridiano distante 180 gradi da quello nel quale ci si trova nel fare questa constatazione, possono vedere il loro sole di mezzanotte, purché si trovino appunto in una località interna al Circolo Polare Artico. In questo modo, senza allontanarsi da casa nostra, avremmo potuto seguire l'evoluzione delle condizioni di illuminazione solare di un'intera annata, corrispondente in sostanza all'intera orbita compiuta dalla terra attorno al sole in un periodo di 365 o 366 giorni.

Non è facile da comprendere il fatto che i raggi del sole sono in sostanza paralleli allorché essi raggiungono la superficie della terra, ma forse questo elemento assai importante per la comprensione dell'avvicendarsi delle stagioni, di molti altri fenomeni, del passaggio dalla notte al giorno, potrà essere alquanto chiarito, con il semplice esperimento che segue. In una giornata molto luminosa, si prenda un pezzo di tubo di plastica, di metallo o cartone e lo si punti con il suo asse in direzione del sole, in maniera che esso proietti su di un cartoncino bianco disposto dietro alla sua estremità opposta, un'ombra della forma di un anello di spessore identico in tutti i suoi punti e molto netto. Ora, se in questo stesso momento qualche altro, situato in una località spostata verso Est di 120 gradi rispetto alla località nella quale noi stessi si è condotto questo esperimento, ossia ad una distanza pari ad un terzo della circonferenza del globo, conduce lo stesso esperimento dovrebbe

puntare il suo tubo verso Ovest in direzione del sole nel primo pomeriggio. Nonostante questo fattore i due tubi usati per l'esperimento dovrebbero essere sostanzialmente paralleli con una tolleranza massima di una piccola frazione di grado di inclinazione. Se, continuando in questo esperimento, nella nostra località, si punta di nuovo il tubo verso il sole, nelle ore del pomeriggio e, nello stesso momento, il secondo osservatore situato nella località situata a 120 gradi dalla nostra, fa altrettanto, anche questa volta, perché entrambi i tubi proiettino sul retrostante cartoncino bianco un anello di ombra sottile ed uniforme, occorrerà che gli assi di questi siano effettivamente paralleli. Questo esperimento dovrebbe aiutare a chiarire come avviene che quando due mappamondi sono situati in località diverse ma sono perfettamente orientati secondo le indicazioni di cui sopra, gli abitanti di qualsiasi località del mondo, purché raggiunta dal sole, vedranno il loro mappamondo illuminato nella stessa maniera.

Come è stato detto, è facile, usando il nostro mappamondo così preparato, immaginare di trovarsi in una qualsiasi località distante, ed in tale località vedere il sole in quel cielo che, in quella stessa epoca della giornata, si trova a quella stessa altezza ed inclinazione. È quindi evidente che uno spillo sottile e piuttosto lungo trattenuto in posizione verticale su qualsiasi punto della superficie del globo, proietterà sulla superficie del globo stesso, un'ombra che avrà la stessa direzione dell'ombra proiettata da una persona che sosti in quella stessa località geografica. In sostanza il globo modificato sarà divenuto una specie di modello della terra, capace di riprodurre le stesse condizioni relative all'illuminazione che, in effetti, si producono sul nostro pianeta.

È stato a seguito di una lunga serie di esperimenti con una meridiana di precisione tracciata sul pavimento della mia stanza, presso il Collegio Havenford, che lentamente giunsi all'evoluzione dell'idea di questo particolare apparecchio. La meridiana era stata anzi perfezionata ad un punto tale per cui avrei potuto stabilire con essa l'orario con un'approssimazione di ben 5 secondi soltanto, ad ogni modo, questa meridiana solare realizzata su di un mappamondo, era sempre la più attraente; essa permetteva infatti un'immediata panoramica sulle



27. Illuminazione di una meridiana sferica, in inverno ed in estate.

condizioni di illuminazione esistenti nel mondo intero. Avevo comunque la forte sensazione che un'idea così semplice ed universale come quella su cui il sistema si basava, non avrebbe dovuto essere sfuggita ad altri ricercatori dotati di una qualche ampiezza di vedute, in altre epoche ed in altri luoghi. Più tardi appresi che il concetto era stato riconosciuto circa 300 anni addietro. Allora gli studiosi stavano guardando al mondo, con una nuova, maggiore comprensione, divenuti anche più ricchi per le nozioni assunte dalle grandi esplorazioni dei navigatori e dalla crescente convinzione attorno al principio importantissimo della sfericità della terra. Va anzi detto a questo proposito che anche i Greci avevano immaginato che la terra dovesse

essere una sorta di sfera. Archimede stesso, ad esempio, aveva fondato i suoi importantissimi studi sul galleggiamento dei corpi sul concetto che: « la superficie libera di qualsiasi liquido, immobile, può immaginarsi come facente parte di una sfera il cui centro si trova al centro della terra ». Si immagini che questa affermazione era stata fatta addirittura duecento anni prima dell'epoca cristiana; quello che appare sorprendente è il fatto che questa affermazione venne accettata con molto favore anche nelle opere dei matematici greci di quell'epoca. Essi giungevano anche a valutare le dimensioni della terra con un sistema che risultava corretto nel suo fondamento ed abbastanza approssimato, nel risultato, anche alla luce delle recenti valutazioni; ad ogni modo, appare strano che gli uomini comuni abbiano trascurato le osservazioni ed i ragionamenti di questi scienziati almeno sino alla recente epoca delle grandi esplorazioni che datarono da Colombo e dalla scoperta del nuovo mondo.

In un libro sulle meridiane e sugli orologi solari, dedicato a Samuel Pepys, ufficiale primario della marina, scritto da Joseph Moxon, pubblicato per la prima volta nel 1668, vi è la descrizione di un « globo Inglese », che pur rimanendo immobile e fisso, fa tutto quanto può fare il globo terrestre ed ancora di più. Moxon, che era un idrografo sotto Carlo II, attribuisce il possesso di questo globo al conte di Castlemaine; sembra certo che questo esistesse veramente a Londra nel 1665. Nel 1756, un altro orologio solare basato su di un mappamondo venne descritto da Charles Leadbetter, in un suo libro dal seguente delizioso titolo: *Meridiana meccanica, ovvero, L'arte nuova delle ombre, liberata dai punti non chiari, dal superfluo e dagli errori dei precedenti autori che avevano scritto su questo stesso argomento — il tutto pianificato su di un progetto talmente chiaro e lineare che qualsiasi persona, anche se estranea all'arte, con l'aiuto di un paio di compassi e di una squadra solamente, può realizzare una meridiana adatta per qualsiasi piano e per qualsiasi località del mondo, proprio come riuscirebbero a fare coloro che siano in possesso delle maggiori cognizioni ed approfondimenti delle matematiche. Libro utile non solamente ai tecnici ma di estremo interesse anche per i signori, e per quegli studenti delle università che preferiscono*

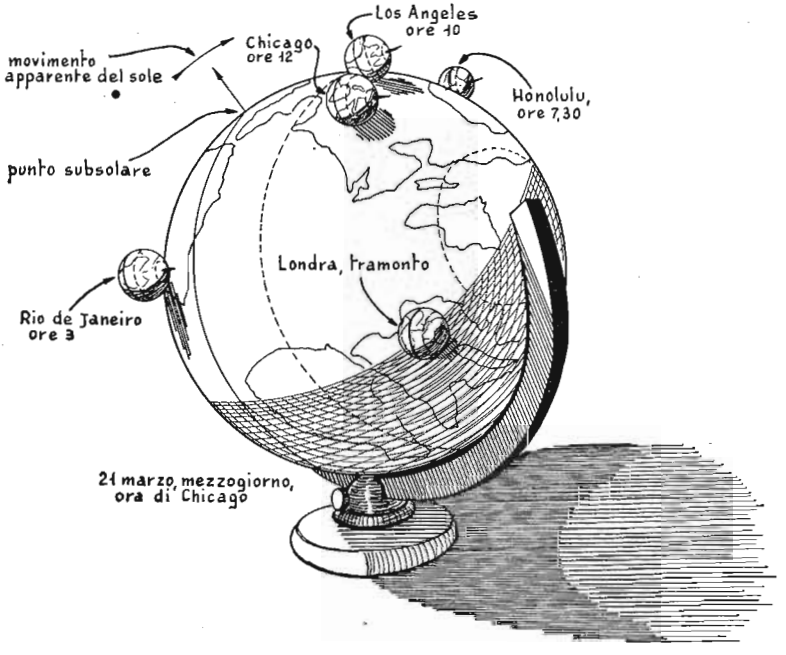
comprendere i princìpi delle meridiane e degli orologi solari, senza dovere affrontare qualche corso di matematica —.

Come si vede, a quell'epoca, gli autori ben sapevano come utilizzare nel modo più completo la pagina del titolo delle loro opere!

Leadbetter spiega come si debba erigere una sfera immobile di pietra e come si debba fare per tracciare su questa i segni atti a farla interpretare come un mappamondo; egli dice:

> A seconda della vera longitudine e latitudine, nei vari punti della terra è possibile scoprire con essa quando il sole cade sulle varie zone del moto, che, come detto, hanno ciascuna la corrispondenza sul mappamondo, e su quali invece regni l'oscurità. I contorni delle zone illuminate e di quelle in ombra forniscono anche la indicazione delle località in cui nei vari momenti il sole sta sorgendo e tramontando ed ancora quelle zone nelle quali le giornate di sole sono più lunghe che in altre. Questi e molti altri problemi sull'illuminazione della terra, troppi da potersi elencare in questa sede, si possono visualizzare e vedere risolti con la sfera. L'orologio solare a sfera è il più naturale di tutti, in quanto rassomiglia nel suo comportamento alla terra stessa e su di esso, come sulla terra, la luce del sole cade nelle stesse condizioni... Si sistema anche uno spillo a ciascuno dei poli per utilizzare questa meridiana per una vera e propria indicazione dell'orario. Attorno a ciascuno degli spilli viene tracciato un cerchio con 24 divisioni, corrispondenti in effetti alle ore di una intera giornata: in tale caso la lettura dell'ora si esegue semplicemente osservando la posizione e la direzione dell'ombra dello spillo rispetto alle graduazioni tracciate sul quadrante... Come si può vedere, lo spillo puntato sul Polo Sud serve a fornire l'orario in inverno, mentre quello sul Polo Nord serve a fornire le indicazioni dell'orario nel caso della stagione estiva.

Non vi è alcun punto della terra con cui non dividiamo una parte della luce che ci perviene dal sole, in qualsiasi epoca dell'anno; se è vero che qualcuno potrebbe fare rilevare che certamente il Nadir della posizione nella quale ci troviamo, ossia il nostro punto antipodale, non riceve certamente parte della luce che ci perviene dal sole al disopra di noi, si può fare no-



28. Globi opportunamente disposti presentano, in ogni parte della terra, le stesse condizioni di illuminazione.

tare, come è da tenere sempre presente, il potere rifrattivo della nostra atmosfera, per cui la luce, in effetti, subisce una sorta di curvatura grazie alla quale giunge assai al di là di quanto sarebbe logico immaginare in vista di un suo semplice percorso geometrico in linea retta: è appunto grazie a questa rifrazione che l'alba di ogni giorno ha inizio circa due minuti prima di quando il sole in effetti fa la prima sua comparsa e ogni tramonto si prolunga di circa due minuti da quando l'ultimo lembo del sole sia scomparso al disotto dell'orizzonte.

È facile rilevare da questa meridiana a forma di globo quante ore di sole alto potrà godere in ogni epoca una località, in qualsiasi posizione geografica essa si trovi rispetto al punto di osservazione; tutto ciò che occorre è di contare il numero di divisioni longitudinali spaziate 15 gradi una dall'altra (quelle per intenderci della graduazione delle 24 ore) che giacciono entro

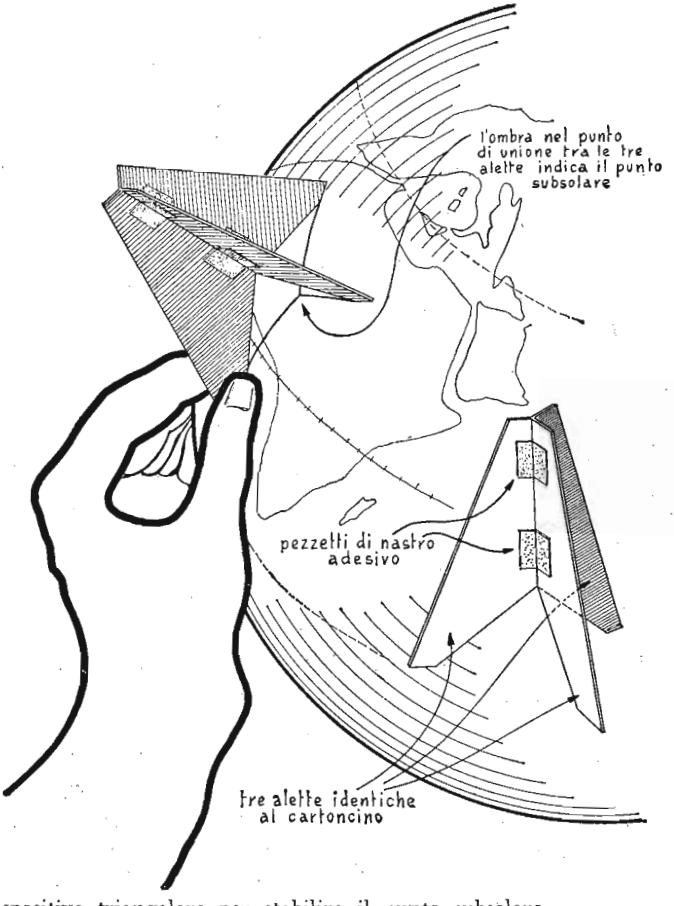
la zona del mappamondo illuminata ad una determinata latitudine. Per questo, ad una latitudine Nord a 40 gradi in estate, la zona di confine coprirà 225 gradi di longitudine, lungo il 40° parallelo, il che (225:15) equivarrà ad una durata nella zona di circa 15 ore di luce solare.

Uno od altri due concetti potranno poi rendere questa meridiana ancora più utile; per prima cosa, con essa è possibile rispondere alla domanda seguente: dove si trova allo Zenith il sole in questo stesso momento? È possibile trovare il punto della terra dove, in questo istante una persona può avere proprio sui suoi stessi piedi, la propria ombra? È facile: si tratta di tenere l'estremità di una matita sulla superficie del globo e muoverlo quindi sino a quando la dimensione dell'ombra proiettata da esso, sulla superficie della sfera, sia identica alla sezione stessa della matita. Quando l'asse della matita, prolungato, giunge, ad un'estremità, al centro del sole e passa, con l'estremità opposta per il centro della terra, il punto sulla sfera dove l'estremità assottigliata giace in queste condizioni rappresenta proprio il luogo della sfera che si trova alla minore distanza dalla superficie del sole, vale a dire la località in effettiva opposizione con il sole stesso. Meglio ancora, se si usa un pezzetto di tubetto a pareti sottili e perfettamente diritto, si tratta di puntare questo, in direzione del sole in modo che la luce di esso possa passarvi attraverso sino a proiettare sulla sfera un'ombra corrispondente alla sezione delle pareti, ossia sotto forma di un sottile anello: anche questa volta la condizione si verificherà nel modo completo, quando il tubo sarà fatto muovere sulla superficie della sfera stessa, sino a che esso verrà a trovarsi proprio sopra il punto in opposizione con il sole.

Questo punto geografico è importante, poiché è quello che serve a fornire la latitudine e la longitudine alle quali si trova il sole ad un determinato momento; inoltre esso si trova anche al centro esatto dell'enorme zona del mondo che in quel momento è illuminata dal sole. Con uno spostamento radiale di un angolo di 90 gradi, a partire dal citato punto geografico, in qualsiasi direzione, si hanno infiniti punti geografici, nei quali il sole si trova all'orizzonte, sia nella fase dell'alba oppure in quella del tramonto. Alle estremità Nord e Sud dell'anello che rappresenta il confine tra le zone in luce ed in ombra del globo,

si hanno i punti in cui l'alba ed il tramonto coincidono. In Giugno, ad esempio, il punto a Sud mostrerà dove il sole si solleva appena sull'orizzonte ed immediatamente tramonta nell'Antartico ed il punto verso Nord, ossia prossimo al Polo Nord, starà ad indicare la località dove il sole di mezzanotte scompare nell'orizzonte ed immediatamente si solleva di nuovo in una nuova alba.

Ove si voglia, in vista di ulteriori ricerche, trovare con ancora maggiore precisione il punto del globo in maggiore opposizione con il sole, si può costruire il semplice dispositivo a treppiede illustrato in dettaglio nella fig. 29. Si tratta di una costruzione di cartoncino od in fibra composta di tre parti sostanzialmente identiche, che sono poi unite insieme con striscette di carta adesiva, in modo che ciascuna di queste sia equidistante, ossia che le estremità superiori ed inferiori dei tre elementi si vengano a trovare come ai vertici di un triangolo equilatero. Quando questa specie di treppiede sosta su di un piano perfettamente regolare ed orizzontale, la linea di unione tra le tre parti simmetriche del dispositivo deve risultare verticale. Quando questo treppiede viene posato a contatto con la superficie del mappamondo che si ha a disposizione, questa linea immaginaria, deve risultare esattamente perpendicolare in quel punto alla superficie e quindi coincidere con il raggio della sfera, che giunge in quel punto. Se si muove questo complesso, sulla superficie del globo, mantenendolo sempre in contatto con essa e si continua questa operazione sino a quando le ombre prodotte dalle tre alette scompaiano per lasciare posto a tre semplici linee che sono quelle stesse lungo le quali ha luogo il contatto tra la base delle alette e la sfera, si sarà anche questa volta trovato il punto in perfetta opposizione con il sole, vale a dire il punto subsolare, dove i tre segmenti che rappresentano la base del treppiede s'incontrano. Una volta fatto questo rilevamento sarà facile risalire alla posizione esatta del sole nel nostro sistema di coordinate, il che si ottiene contando le ore a partire dal mezzogiorno locale, oppure le ore mancanti allo stesso mezzogiorno, dal che si potrà rilevare anche l'orario solare locale, si potrà prevedere dopo quanto tempo il sole tramonterà oppure da quanto tempo esso è sorto. Da notare che questi rilevamenti potranno essere condotti in relazione al



29 Dispositivo triangolare per stabilire il punto subsolare.

punto del mappamondo della località nella quale si sta effettuando l'esperienza, come pure su località diverse.

Forse questa piccola meridiana, così semplice da realizzare, potrà servire a chiarire a molti i movimenti apparenti del sole, causati ovviamente dalla quotidiana rotazione della terra sul proprio asse e dalla sua rivoluzione annuale attorno al sole. Di certo sarà una esperienza affascinante quella di avere in giardino o sulla terrazza un tale dispositivo, che tra l'altro non man-

cherà di costituire un'interessante decorazione, ove realizzato con una certa cura.

L'orologio solare può fornire una completa e continua informazione in merito alla luce del sole, dalla quale tutta l'umanità dipende. Se lo strumento stesso, ed ancora più le osservazioni che esso permette, saranno serviti a rinforzare un sentimento di solidarietà per i popoli della terra più distanti da noi, il progetto descritto, sarà stato doppiamente utile.

8

MERIDIANA SOLARE CHE SCANDISCE IL TEMPO CON PRECISIONE

Richard L. Schmoyer, tecnico di Landisville, Pennsylvania, discute qui appresso alcuni aspetti delle meridiane che sovente sono trascurati dai profani. Viene considerata la precisione e l'utilità di questi strumenti così economici e vengono fornite istruzioni per la costruzione di uno strumento di questo genere in grado di essere tarato al punto di mantenere il tempo di un vero orologio, in qualsiasi località compresa nell'emisfero settentrionale.

Perché una persona in possesso di un precisissimo orologio da polso, e magari di diversi altri orologi e sveglie distribuiti nel suo appartamento, può acquistare o costruirsi una meridiana solare? Non è infatti una spiegazione sufficiente quella di dire che una meridiana rappresenta di per se stessa un piacevole ornamento per un giardino od una terrazza bene esposta. Una risposta più seria e più accettabile è quella nella quale si può accennare all'affascinante profondità intellettuale del

principio sul quale un tale strumento si fonda, strumento questo che, sebbene sempre immobile, trae vantaggio dal movimento apparente del sole nella volta del cielo per dar luogo ad un'indicazione abbastanza accurata dell'orario.

Una meridiana che fornisca delle indicazioni di orario, con un'effettiva precisione è estremamente rara e quelle che riescono a mantenere indicazioni comparabili a quelle di un orologio convenzionale, sono pressoché sconosciute. Il fatto che rende problematico il funzionamento corretto per l'intero anno di strumenti come questi è quello della non costanza della velocità del movimento relativo del sole. In effetti, la terra in Gennaio si muove lungo la sua orbita, apparentemente con rapidità maggiore di quella con la quale si muove invece, ad esempio, in Luglio. Inoltre l'altezza dell'arco descritto dal sole in cielo varia ogni giorno, in funzione anche dell'altezza del sole nelle varie stagioni. Ad ogni modo la costruzione di un tale strumento riesce a creare dei nuovi entusiasti, ancora prima che esso sia stato completato e messo in opera. Nel corso dello sviluppo del progetto di una meridiana solare, chiunque dedichi a questa attività un poco del suo tempo libero, si trova di fronte ad un'affascinante e ben definita combinazione di elementi di matematica, astronomia, geometria e geografia. La progettazione di una meridiana stimola infatti i talenti creativi di ciascuno di noi e la sua costruzione spinge la nostra abilità nelle lavorazioni meccaniche, ad una prova molto impegnativa per la precisione che essa rende necessaria. Infine, il progettista e costruttore che offre, alla funzione primaria della scansione del tempo della meridiana, la possibilità di controllare la forma stessa dello strumento, riesce ad ottenere dei risultati di estremo interesse.

Lavori in ferro battuto o forgiato, in forme piacevoli, sebbene strane ed inattese, spesso derivano dalle equazioni che descrivono e governano la sempre mutevole inclinazione dei raggi del sole. Queste considerazioni mi indussero, lo scorso anno, a dedicarmi alla proiettazione ed alla costruzione di una meridiana che, ormai finita, rappresenta fonte di gradevole interesse, per me stesso e per i miei vicini. Con poche e semplici regolazioni eseguite in due stagioni diverse dell'anno, lo strumento può essere reso talmente esatto da fornire addirittura delle indicazioni comparabili a quelle di un orologio. Nella forma nella

quale lo descriverò qui appresso, esso può essere adattato alla latitudine ed alla longitudine di qualsiasi punto geografico che si trovi nell'emisfero settentrionale, incluse quelle zone nelle quali l'ora effettiva viene variata di 30 o 60 minuti, con la istituzione della cosiddetta « ora legale ». Le indicazioni dallo strumento possono essere interpretate con l'approssimazione di un solo minuto, anche se il cielo sia offuscato da una leggera nebulosità.

Moltissime persone considerano attraenti le meridiane e per questo, nella costruzione di tali strumenti, anche l'aspetto di essi non deve essere trascurato. La struttura dello strumento da me costruito era stata derivata dall'armillare, uno strumento le cui caratteristiche affascinano tutt'ora molti. Coloro infatti che siano principalmente interessati all'aspetto di una meridiana possono apprezzare la perfezione geometrica dell'insieme degli anelli intersecantisi dell'armillare, anelli questi che rappresentano la longitudine, la latitudine, i tropici, l'equatore celeste e gli altri elementi astronomici che possono essere espressi con un anello od un'eclisse che circondi il globo. Gran parte delle qualità piacevoli dello strumento possono comunque ricercarsi nell'asimmetrica falce della luna prima e dopo la fase della sua pienezza. L'armillare può essere adattata a questa forma eliminando tutti gli anelli, eccettuati quelli che forniscono l'indicazione della latitudine e della longitudine e provvedendo anche ad interrompere questi due anelli in uno dei due punti in cui questi s'incontrano, generalmente ad angolo retto. Una volta che siano stati assottigliati da un lato e contemporaneamente rinforzati, questi anelli giungono a rassomigliare ad una coppia di mezze lune o di falci di luna nuova incrociate, come appare nella fig. 30.

La trasformazione dall'armillare in questa coppia di mezze lune incrociate può rappresentare una dimostrazione di come una forma piacevole può essere la conseguenza di una necessità funzionale. Un dispositivo per le indicazioni del tempo dovrebbe essere in grado di fornire sempre esatte le sue indicazioni; ebbene, l'armillare è forse lo strumento di partenza che più si avvicina alle esigenze che si manifestano in questo frangente. Durante una parte di ogni giornata, il suo intreccio di anelli ornamentali incrociati proietta su di una opportuna scala,

sostenuta dalla parte interna dell'anello equatoriale, un'ombra. Peggio ancora, nelle epoche degli equinozi, (vale a dire attorno al 21 di Marzo ed al 23 di Settembre), la scala graduata, rimane costantemente in ombra per il fatto che il piano sul quale giace l'anello in questione risulta parallelo ai raggi del sole. Eliminando dunque tutti gli anelli non indispensabili e creando una interruzione nella coppia di anelli che viene lasciata, la scala dell'orario risulta sempre esposta al sole, senza essere ostruita da alcun elemento.

La struttura di una meridiana che fornisca delle indicazioni precise e comparabili a quelle di un orologio è semplice nel suo concetto; ma non lo è invece nella sua realizzazione pratica. Le mezze lune ricavate dagli anelli sono sostenute ai bordi mediante un insieme di viti, morsetti e fenditure in maniera che esse possano venire ruotate indipendentemente, lungo i loro piani rispettivi. La mezza luna corrispondente alla latitudine è costituita da due parti, ciascuna delle quali è munita di una flangia, all'estremità interna. Delle viti sono fatte passare attraverso tali flange ed attraverso alla fenditura nella mezza luna relativa alla longitudine: ne deriva che quando i dadi od i galletti che impegnano le viti sono serrati a fondo, il gruppo diviene un tutto rigido. Similmente il bordo di uno dei membri della mezza luna della latitudine è serrato come in un morsetto, tra le valve di una colonna con fenditura centrale, che sporge dal centro della base dell'apparecchio: allentando un singolo galletto si può ruotare il complesso sul piano della mezza luna della latitudine e nell'Azimuth. Un paio di fori sono praticati nella mezza luna della latitudine sul diametro di questa che coincide con l'asse della mezza luna equatoriale, e servono per accogliere lo gnomone, consentendo a questo una certa rotazione. Alla forma specialissima dello gnomone, prevista per compensare l'effetto dell'eccentricità dell'orbita ellittica terrestre e l'inclinazione del suo asse, questa meridiana deve la sua capacità a mantenere l'ora esatta anche nel passare dei mesi e delle stagioni.

Se la terra compisse un'orbita sostanzialmente circolare attorno al sole e se il suo asse fosse perpendicolare al piano dell'eclittica, sarebbe sufficiente uno gnomone diritto come quello installato sulle meridiane convenzionali per fornire l'ora esatta.

L'orario segnalato dagli orologi è quello stabilito da un sole immaginario che precede il vero sole di un periodo sino a 16 minuti o che lo segue con un ritardo sino a 14 minuti, in funzione della posizione nella quale si conduce l'osservazione ed in funzione anche della stagione. Questa differenza è conosciuta come l'equazione del tempo e viene rappresentata graficamente come un analemma sui globi, una curva chiusa avente una forma analoga al numero 8.

Lo gnomone del mio strumento, si riferisce all'analemma, ma differisce da esso, per il fatto che le due metà dell'8 sono alquanto separate e le estremità sono invece alquanto allungate. Strutturalmente, tale gnomone consiste di una striscia di metallo abbastanza rigido piegato ad angolo retto nel senso della sua lunghezza; niente impedisce pertanto che, come punto di partenza, sia usato uno spezzone di profilato simmetrico ad angolo retto o ad « L » nel quale siano eseguite le alterazioni necessarie. Il vertice dell'angolo solido determinato dalle due alette del profilato, viene aperto (corrodendo magari il metallo dello spigolo con una limetta piana), sino a produrre lungo tale linea, una sorta di fenditura sottile. Tale gnomone è sostenuto alle sue estremità da due spezzoni di tondino, che vi sono stati saldati in modo che abbiano un asse diritto comune e che sono introdotti nei fori appositi eseguiti in prossimità delle estremità della mezzaluna della latitudine. Le due metà dello gnomone sono piegate in curve composte pressoché simmetriche rispetto all'asse maggiore e pertanto complementari. Quando una delle due metà dello gnomone è esposta verso il sole, il nastro curvo di luce che passa attraverso alla fessura corrisponde appunto all'equazione del tempo valida per metà dell'anno; l'altra metà dello gnomone serve per fornire le indicazioni del tempo nei restanti sei mesi dell'anno. L'orario viene segnalato dalla sottile linea di luce passante attraverso la fessura e che cade sulla scala graduata del tempo, tra le ombre proiettate sulla scala stessa, delle due alette dello gnomone.

La porzione di fenditura curva, attraverso la quale passano i raggi che poi giungono alla scala graduata dell'orario, dipende dalla declinazione del sole nell'epoca nella quale il rilevamento viene condotto. In estate, ad esempio, la luce del sole cade sulla scala da un angolo più elevato e raggiunge la scala stessa pas-

sando attraverso la parte più elevata della fessura dove la curvatura è stata prevista per compensare le condizioni di un sole che si muova lentamente come appunto apparentemente accade in estate. In autunno, quando il sole risulta piuttosto basso sull'orizzonte, accade il contrario. Il sole d'inverno è ugualmente lento e, solo in primavera, esso passa da un movimento lento ad uno rapido per poi rallentare ed accelerare di nuovo. In pratica qualunque sia la stagione, la declinazione del sole sceglie automaticamente la porzione della fessura curva attraverso la quale passare per risolvere e superare direttamente l'equazione del tempo di cui è stato fatto cenno.

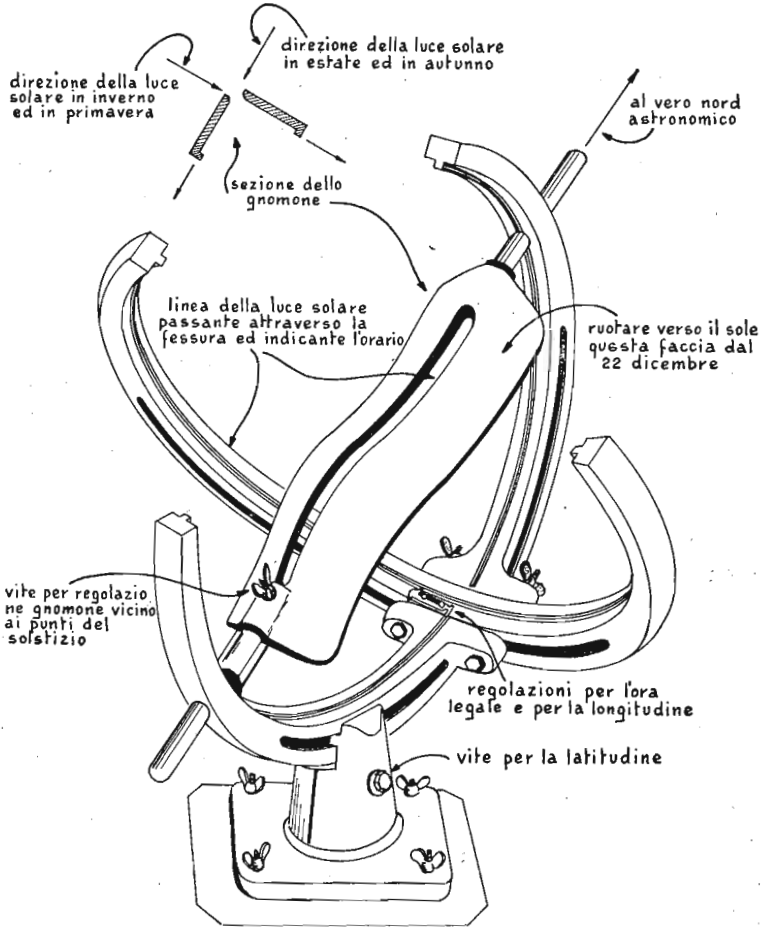
Qualche difficoltà può incontrarsi nel periodo compreso tra il 1° Dicembre e la metà di Gennaio, quando il sole scorre lungo il suo percorso più basso sull'orizzonte; in questo stesso periodo però, esso si sposta anche più rapidamente rispetto al sole immaginario. Un ritardo di circa 11 minuti diviene così un anticipo di 9 minuti. La variazione contemporanea di declinazione è piccolissima. Un simile evento si verifica poi in maniera inversa di quella descritta nelle settimane che precedono e quelle che seguono il solstizio di estate che come si sa cade il 21 Giugno, quando il sole reale procede dietro al sole fittizio, nuovamente accompagnato da una piccola variazione della declinazione. Per migliorare la risposta della meridiana durante questi periodi, la curvatura della fessura deve risultare a raggio più ampio. Lo gnomone deve anche essere regolato assialmente sui supporti che ne accolgono gli assi terminali, ad a tale scopo, la valutazione quantitativa di questo movimento, deve essere stabilita mediante una sorta di arresto applicato lungo l'albero stesso. Tale regolazione e le altre sono in genere fatte a mano, in funzione di una serie di date incise sullo gnomone stesso come appare nella fig. 30.

La progettazione dello gnomone e la sua successiva realizzazione, sebbene lunghe e noiose, non presentano molte difficoltà. Si tratta in primo luogo, di determinare il rapporto o la velocità con cui un raggio di luce solare si muove lungo la scala degli orari: ciò ovviamente dipende dal diametro della mezzaluna sul quale la scala è incisa o tracciata e dalla distanza esistente tra la scala stessa e la fessura dello gnomone attraverso la quale il raggio luminoso deve passare. Si moltiplichi il dia-

metro della mezzaluna equatoriale per 3,1416 e quindi si divida il prodotto per il numero dei secondi contenuti nelle 24 ore di una giornata. Nel caso di una mezzaluna del diametro di 325 millimetri, il risultato del calcolo è di 0,000473. Il numero in questione viene usato per calcolare la distanza e la direzione con cui la porzione curva della fenditura deve allontanarsi dalla linea retta per le varie successive settimane di un anno.

Questo procedimento può essere visualizzato costruendo una sorta di grafico della curva di una faccia dello gnomone: per prima cosa si traccia una linea diritta di lunghezza uguale al raggio della mezzaluna che s'intende usare, quindi si solleva al disopra della linea una perpendicolare di lunghezza analoga a quella della linea orizzontale, ed un'altra perpendicolare di uguale lunghezza si traccia al disotto della linea stessa. Da notare che la linea di base rappresenta l'elevazione media del sole, ossia il valore di 0 gradi, nella data del 23 Settembre. Successivamente, adottando come punto di origine l'estremità della linea di base, si traccia in direzione della perpendicolare superiore una linea che formi con la linea di base stessa, un angolo di 21 gradi e 34 secondi, tracciando così la rappresentazione dell'elevazione del sole il 15 Luglio. A questo punto si traccia dalla parte inferiore della linea di base un'altra linea che forma con essa, un angolo simile, ma di 21 gradi e 47 secondi, e che servirà a rappresentare l'elevazione del sole il 1° Dicembre.

Gli angoli situati al disopra della linea orizzontale di base sono considerati come positivi e sono contrassegnati con il segno «+», quelli al disotto della linea stessa, sono invece negativi e vengono indicati con il «—». A questo punto si tratta di tracciare degli angoli ad intervalli di una settimana allo scopo di coprire tutte le date intermedie, avvalendosi, magari, delle tavole che si possono ottenere consultando qualsiasi effemeride e molti dei maggiori almanacchi, in cui sono spesso elencate le elevazioni angolari del sole in tutti i giorni dell'anno. Tali tabelle, in genere, sono integrate da altre per il fattore di correzione relativo all'equazione del tempo e per un elenco delle differenze tra l'orario solare e quello scandito dagli orologi, in minuti ed in secondi. La curva per una delle due facce dello



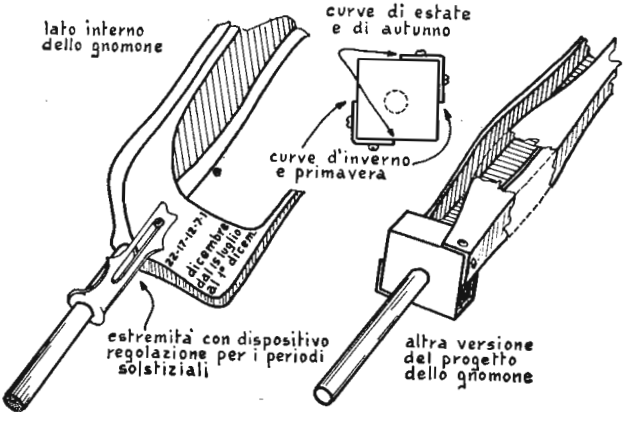
30. Meridiana di Schmoyer, che indica l'esatta ora di orologio grazie all'ombra proiettata dal sole.

gnomone può pertanto essere tracciata partendo da questi elementi (se però lo spessore del materiale del quale lo gnomone è costituito supera 0,25 millimetri, la curvatura dei bordi delle fessure deve avere inizio dal bordo esterno del metallo stesso, e lo stesso fatto deve essere tenuto presente anche in sede della progettazione dei profili della curva).

Il 23 Settembre la correzione per l'equazione del tempo ha un valore di —7 minuti e 35 secondi, il che equivale ad un totale di —455 secondi: si tratta pertanto di moltiplicare il valore in questione per il valore della velocità di spostamento del raggio di sole sulla scala della graduazione e subito dopo, si moltiplica il valore trovato per 25,4 vale a dire 0,000473×(—455) ×25,40; il risultato dà la distanza in millimetri con la quale la curva di un bordo della fessura si allontana dalla perpendicolare (nel costruire le curve, tutti i valori negativi sono rivolti verso la sinistra della perpendicolare ed i valori positivi sono invece rivolti dalla parte destra). Gli altri punti che concorrono alla formazione della curva sono registrati per tutti i valori intermedi ad intervalli di una settimana.

Le estremità della curva debbono essere alquanto raddrizzate come è stato accennato in precedenza: a tale scopo, una linea perpendicolare viene tracciata attraverso il punto di origine e divisa da una serie di quattro punti spaziati di circa 6 millimetri uno dall'altro, sia dalla parte superiore come da quella inferiore rispetto alla linea di base. Adottando questi punti come altrettante origini successive, si traccia la declinazione del sole, al di sopra della linea di base, rispettivamente per le date dell'8 Luglio, 26 Giugno e 21 Giugno. Come dalla parte inferiore della linea di base si provvedono a tracciare i segni per la declinazione del sole, sulla faccia opposta si tracciano dal 1° al 21 Giugno e dal 22 Dicembre al 15 Gennaio. Le estremità delle curve sono poi tracciate tenendo presente la correzione da parte della equazione del tempo secondo il metodo descritto, ossia tracciando prima il maggior numero di punti che in seguito sono uniti insieme con altrettanti segmenti sino a costruire la curva stessa anche se questa non sia perfetta ma alquanto angolosa.

A questo punto, la curva descritta e tracciata sarà pronta per essere trasferita sul metallo da cui essa dovrà essere realizzata. Tutte le parti maggiori della meridiana, eccettuate quelle già pronte perché ricuperate dall'armillare, possono essere in rame od in alluminio. La graduazione per l'orario deve essere suddivisa in intervalli orari dell'ampiezza di 15 gradi ciascuno e quindi ulteriormente suddivisa in parti ancora più piccole, vale a dire in angoli di ¼ di grado ciascuna, corrispondenti



31. Dettaglio degli gnomoni. *A sinistra*, regolazione per i periodi del solstizio. *A destra*, procedimento diverso per la costruzione dello gnomone.

alla scansione dei secondi, sempre ove questo si desideri. Da notare che la graduazione corrispondente al mezzogiorno giace esattamente sul piano del meridiano.

Nota. – Una copia in scala ridotta del progetto e della disposizione per lo gnomone può essere ottenuta gratuitamente, a semplice richiesta alla redazione della rivista *Scientific American*, sezione Scienziati Dilettanti, 415 Madison Avenue New York, 17, N. Y., allegando alla richiesta un semplice coupon internazionale di risposta per via aerea.

9

LA LUNA IN TRE DIMENSIONI

Con l'aiuto di uno specchio e con un originalissimo strumento di misura, le fotografie della fig. 32 possono essere osservate in tre dimensioni. Nel sottocapitolo è fornita la descrizione del metodo con cui tali foto sono state riprese.

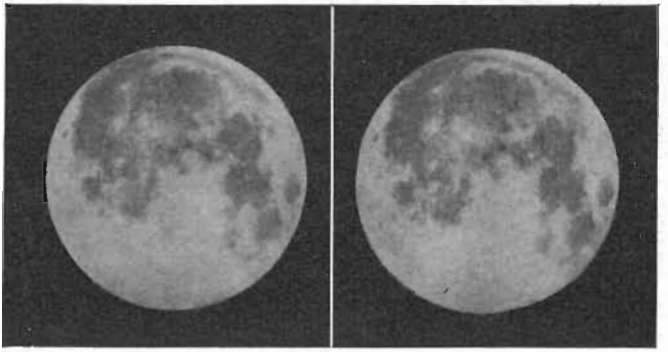
George W. Ginn, di Hilo, Hawaii, presenta nella fig. 32 le foto stereoscopiche della luna. La coppia superiore di esse, fornisce l'illusione delle 3 dimensioni quando essa viene osservata con uno specchio sottile. Si tratta di disporre lo specchio in posizione verticale rispetto al piano della pagina e si allinea il bordo di esso con la linea di separazione tra la veduta di destra e di sinistra del satellite. Se il vetro ha un'altezza di 30 centimetri si poggia sulla sua costola superiore la punta del naso e quindi si guarda alle due immagini situate rispettivamente una da una parte e l'altra dalla parte opposta dello specchio stesso.

La coppia inferiore di foto è stata invece ripresa e stampata per essere osservata con lo sguardo incrociato o nel caso di coloro che non riescano a creare artificialmente questo sistema di osservazione, l'osservazione sarà sempre possibile con l'aiuto di un semplice visore stereoscopico. Occorre comunque dire che molte persone, con un poco di esercizio, possono riuscire all'osservazione diretta a sguardo incrociato ed un'esperienza in questo senso potrà essere interessante. Si tenga la pagina del libro aperto nella mano sinistra alla distanza di circa 30 centimetri dagli occhi, poi si disponga la punta dell'indice della mano destra nello spazio esistente tra le due vedute della luna, si mettono a fuoco entrambi gli occhi su tale estremità e quindi si solleva lentamente il dito dal foglio con un percorso diritto per avvicinarlo al volto, in direzione del naso. Allorché esso giunge

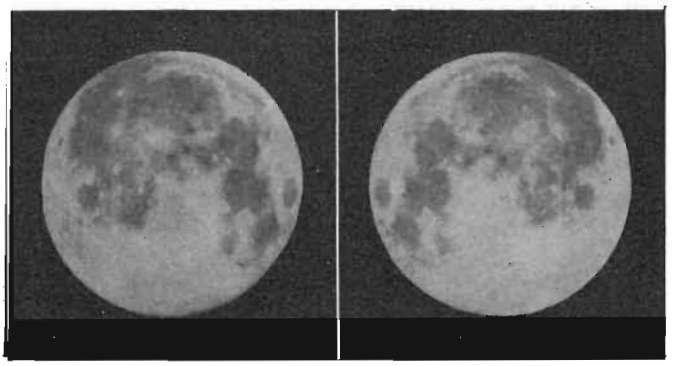
ad una determinata distanza, l'osservatore avrà la sensazione della presenza di quattro immagini indistinte della luna. Si continua a questo punto il movimento del dito sino a quando non si noti la comparsa con maggiore chiarezza delle immagini più interne. Non rimarrà poi che puntare lo sguardo e mettere a fuoco gli occhi su questa immagine centrata, al che la luna apparirà unica, chiarissima, perfettamente definita ed in tre dimensioni.

Nel commento delle sue foto stereoscopiche lunari, Ginn dice:

> Le immagini sono state riprese con un obbiettivo da 88 millimetri circa di diametro della lunghezza focale di 1050 millimetri. Tale strumento era stato attrezzato con un attacco per sistemarvi una macchina fotografica Exacta, ossia una reflex a lente singola, apparecchio questo più adatto di qualsiasi altro, per il fatto che attraverso lo stesso obbiettivo avviene il puntamento, la messa a fuoco della immagine e quindi la esposizione della pellicola. Tale macchina era disposta in maniera che il fuoco primario risultasse al punto di inserzione dell'oculare. Da notare anche che il mirino prismatico della macchina può rappresentare esso stesso un oculare, sia pure di piccola potenza di ingrandimento. L'immagine della luna risultava sulla pellicola di circa 10 millimetri e nella stampa inviata essa risulta ingrandita di circa 6 diametri.
>
> Le due metà della ripresa di ogni stereo hanno richiesto una spaziatura di tempo di 7 ore, ed al movimento di rotazione della terra si è affidato nella ripresa la funzione di costruire la linea base.
>
> Per ottenere una visione in vera prospettiva della foto esse avrebbero dovuto essere osservate da una distanza di circa 6 metri.



32. *In alto,* fotografie stereoscopiche della luna da osservare senza strumento ma con lo sguardo ad occhi divaricati, v. anche fig. 253. *In basso,* foto dello stesso soggetto, adatte per osservazione con uno specchio.



II.

ARCHEOLOGIA

1. *Sono possibili per un dilettante gli scavi archeologici?*
2. *Gli scavi di Wapanucket n. 6*

1

SONO POSSIBILI PER UN DILETTANTE GLI SCAVI ARCHEOLOGICI?

Allorché si scopre una zona promettente dal punto di vista archeologico, per la presenza di manufatti antichi, di cavità sotterranee di evidente origine remota e contenenti tracce di vita o di civiltà, occorre, per prima cosa, scrivere o recarsi direttamente, al più presto, presso il più vicino museo di storia naturale. Sarà possibile ottenere una cordiale solidarietà ed una guida nelle ulteriori ricerche; inoltre, si potranno evitare in partenza gli inconvenienti in cui si incorrerebbe ove si facessero ricerche non autorizzate in zona di interesse archeologico nazionale.

Frank H. H. Roberts, condirettore dell'ufficio di etnologia della fondazione Smithsonian, spiega come il dilettante può raccogliere manufatti antichi, sotto la guida di professionisti ed apportare, così, il proprio contributo alla scienza dell'archeologia.

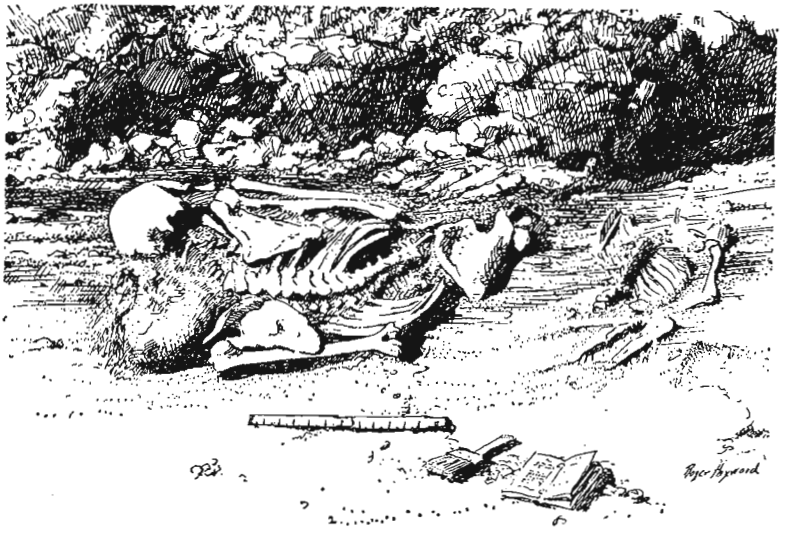
Moltissime sono le persone che sentono il fascino offerto dall'archeologia; essa rappresenta infatti il mezzo grazie al quale il passato può essere fatto nuovamente rivivere e che apre nuove ed appassionanti prospettive e panoramiche sulla vita esistita sul nostro pianeta diecine di secoli addietro. Lo studio della storia antica dell'uomo, derivante dal piacevole passatempo della raccolta di oggetti antichi da conservare nelle vetrine decorative oltrepassò, molto tempo addietro, lo stadio in cui le scuri di pietra venivano ritenute dei fulmini e le teste delle frecce erano considerate pietre delle fate; ciò accadde quando l'uomo che aveva trovato un vaso di terracotta era detto un archeologo e veniva chiamato grande archeologo colui che ne aveva trovati due.

Da allora l'argomento è divenuto complicatissimo, ricco di numerose ramificazioni. I piccoli campioni di materiali e di oggetti che un archeologo ha la fortuna di trovare, rappresentano solamente il punto di partenza. Tali reperti debbono essere studiati in relazione anche all'ambiente dove essi sono stati trovati; il luogo dove gli uomini che avevano realizzato quegli oggetti vivevano, dirà, in merito a quelle epoche remote, molto di più di quanto potrebbero dire gli oggetti stessi, poiché il suo clima e le risorse naturali esistenti all'epoca in cui si sta indagando, erano fattori determinanti nello sviluppo e nella evoluzione delle culture e delle civiltà di cui gli oggetti trovati sono un segno.

Gli studi dettagliati del terreno in cui gli oggetti trovati giacevano, nonché una completa annotazione di tutto quanto è stato trovato sul posto, sono assolutamente indispensabili, dato che il processo stesso dello scavo condotto per le ricerche, distrugge questa importante fonte di informazione. È per questa ragione che gli archeologi professionisti si sono prodigati per incoraggiare i profani a fare dell'archeologia il loro hobby, ed hanno insistito sul fatto che gli scavi veri e propri non debbono mai essere intrapresi se non da persona pratica od almeno sotto la guida di questa.

Questo atteggiamento, apparentemente assolutistico, come a taluni dilettanti può sembrare, è invece giustificato, in quanto deriva dall'importanza della raccolta di elementi altrimenti insostituibili ed irripetibili. Non è facile puntualizzare qual'è la differenza tra un professionista ed un dilettante di archeologia. Si tratta forse del fatto che il professionista esplica questa attività come vero e proprio lavoro, oppure si tratta semplicemente del possesso di adeguate cognizioni ed esperienze? Taluni uomini che esplicano come attività fondamentale quella dell'archeologo, sono dei semplici dilettanti per il fatto che non hanno mai avuto un'istruzione adeguata nelle tecniche e nelle teorie di questa scienza, mentre taluni di coloro che si dedicano all'archeologia come ad un hobby, sono in effetti qualificabili come veri professionisti in quanto possiedono adeguata formazione ed esperienza sull'argomento.

Per il maggior numero delle persone, il termine archeologia è sinonimo con il concetto di « scavi ». Il fascino di tale atti-



33. Scheletro di indiano portato alla luce dagli scavi.

vità deriva certamente, in non piccola parte, dal fatto che in molti di noi si nasconde ancora la passione dei bambini per la ricerca di tesori nascosti. Un dilettante può anche impegnarsi con profitto in altri aspetti dell'archeologia che non solo gli daranno pari soddisfazione, ma contribuiranno alle cognizioni sue ed a quelle degli altri ricercatori. Teoricamente è possibile condurre diverse ricerche di archeologia senza mai toccare una pala per gli scavi.

Una persona interessata alle tracce di vita preistorica, nella zona dove essa stessa vive, può ottenere un interessante risultato tracciando una specie di mappa su cui appaiano le posizioni e le caratteristiche delle tracce stesse. La raccolta delle informazioni necessarie per una tale carta comporta numerose esplorazioni nella zona e piacevoli scambi di idee con gli abitanti delle zone visitate.

Molti agricoltori continuano ad estrarre i loro reperti con l'aratro e generalmente acconsentono di buon grado e mostrarli ed a parlare a proposito di essi. Le ricerche possono anche ren-

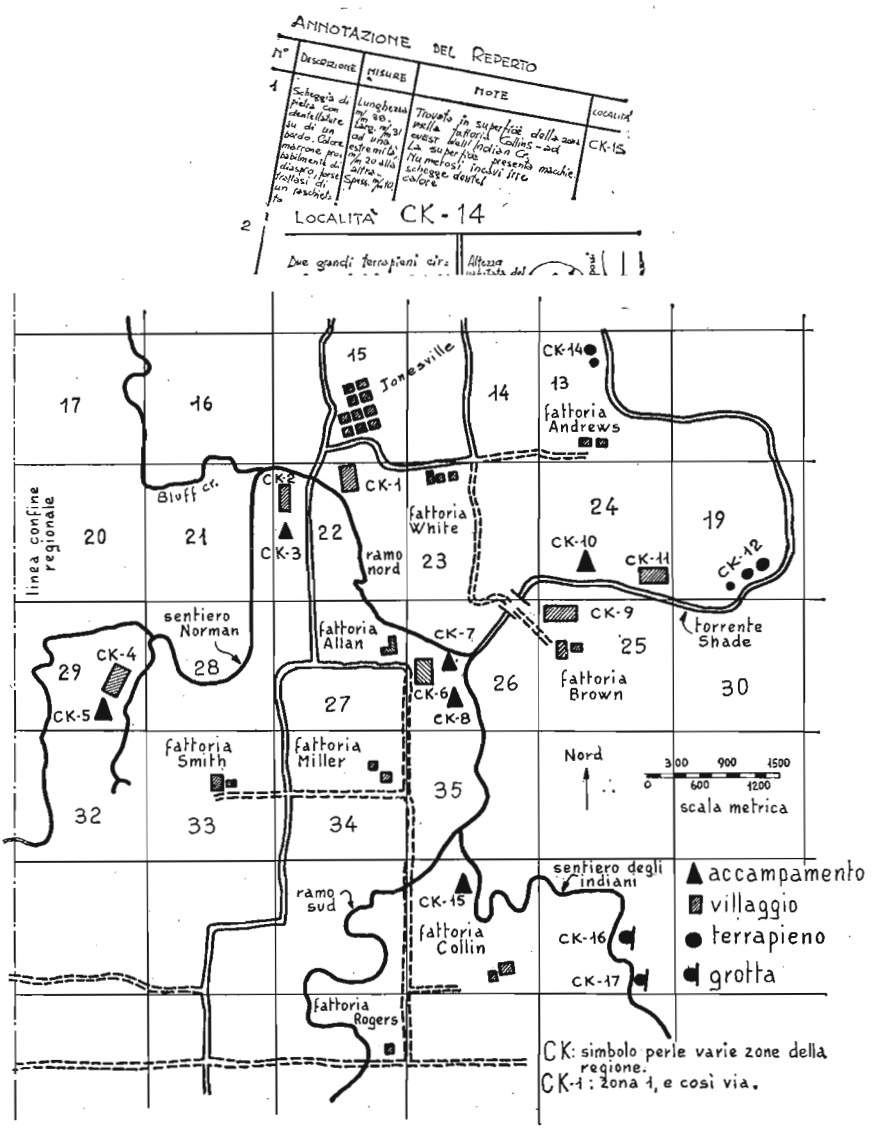
dere necessaria qualche visita in biblioteca, allo scopo di accertare magari quali erano le antiche tribù preistoriche che vivevano nella zona che interessa, o per conoscere il loro grado di civiltà od, ancora, pr trovare qualche riferimento già esistente sulle condizioni archeologiche della zona.

Nel corso di gite casuali nelle campagne, il ricercatore può trovare, per caso, una punta di freccia, od altri oggetti lavorati in modo grossolano, in pietra od in altri materiali. Un'annotazione degli elementi importanti ed accessori su come e dove tali reperti sono stati ottenuti, costituirà un'utile integrazione agli elementi già raccolti per la mappa e può anche risultare di aiuto a qualche altro professionista allorché questi stia eseguendo uno studio più approfondito della zona. Se si possono trovare, in un certo numero, dei manufatti, è utile selezionarli in funzione dei tipi ed annotare quella che ne era stata la distribuzione.

Una mappa di questo genere assume un valore ancora maggiore se indica i tipi di vegetazione e le caratteristiche topografiche generali della zona. Paragonando queste con altre carte corrispondenti tracciate in epoche precedenti, spesso disponibili presso le biblioteche locali ad orientamento storico, sarà possibile rilevare le variazioni sopravvenute sulla zona, dalla stesura delle precedenti carte.

Le più antiche caratteristiche del suolo possono, ad esempio, avere avuto un'influenza determinante sulla posizione di un villaggio preistorico od anche di epoca più recente e ciò, spesso, riesce a spiegare delle condizioni che altrimenti potrebbero apparire insolvibili. Furono talvolta delle antiche carte geografiche e topografiche che condussero alla riscoperta di alcune particolarità archeologiche che erano state distrutte da successive coltivazioni agricole o da altri eventi naturali e che pertanto non apparivano più visibili alla semplice osservazione diretta.

La raccolta di punte di freccia è ad esempio uno degli hobbies più popolari in talune zone degli Stati Uniti: vi sono addirittura persone che le raccolgono, acquistandole e facendo dei cambi. Coloro che acquistano tali ed altri reperti archeologici corrono però un notevole rischio di vedersi vendere dei falsi oggetti antichi: vi sono infatti dappertutto persone che vantano



34. *In alto*, tipiche registrazioni di ricerche archeologiche; *in basso*, carta topografica approssimativa della zona.

una particolare esperienza su questi reperti e che si dichiarano in grado di procurarne degli autentici (i turisti che visitano le zone archeologiche di Roma e Napoli ben sanno per esperienza dell'esistenza di questi elementi privi di scrupoli).

In ogni caso, una collezione fatta acquistandone i pezzi ha, in genere, un basso valore effettivo dato che di solito manca la necessaria annotazione che informi circa la località e le condizioni in cui i reperti siano stati raccolti. A volte, una vasta collezione, contenente dei campioni di grande valore viene offerta in vendita, dopo la morte del proprietario e, con grande disappunto degli eredi, il ricavato risulta assai inferiore dell'attesa, perfino al disotto del costo originale dei singoli pezzi, solo per il fatto che manca qualsiasi informazione a proposito di essi.

Chiunque abbia come hobby quello della raccolta delle punte di frecce o di altri oggetti preistorici dovrebbe, pertanto, fare un'accurata annotazione del luogo e delle condizioni in cui ciascuno dei campioni è stato trovato, richiedendo tali notizie al venditore, in quei casi in cui i pezzi sono acquistati. Ogni campione dovrebbe essere numerato e schedato in un catalogo, possibilmente in una maniera così esauriente e chiara che chiunque, scorrendo il catalogo stesso, possa facilmente riconoscerlo.

Negli ultimi anni vi è stata un'incoraggiante tendenza verso l'organizzazione di associazioni di persone inesperte, interessate ad argomenti di archeologia. Molti di tali gruppi ricercano l'aiuto ed il consiglio di professionisti e stanno conducendo seri sforzi nel seguire le teorie e tecniche di archeologia più comunemente accettate. Taluni dei gruppi locali hanno formato addirittura associazioni a diffusione nazionale e, in molti stati orientali americani, talune singole società si sono riunite in associazioni regionali.

Le organizzazioni statali e le associazioni locali, hanno sviluppato programmi di ricerca ed hanno contribuito notevolmente alle condizioni archeologiche delle varie regioni. Nel Connecticut e nel Massachusetts, per esempio, talune eccellenti imprese di scavi sono state attuate da dilettanti sotto il controllo generale di alcuni professionisti. Nel Missouri, società dilettantistiche hanno cooperato con l'Università di Stato nella conduzione di ricerche intese a localizzare ed annotare tutte le ma-

nifestazioni di carattere archeologico raccolte nello Stato. La loro opera è stata di particolare aiuto poiché condotta su zone che saranno tra breve sommerse a causa della costruzione di grandi dighe. Nel Texas, le associazioni locali, hanno ricuperato materiali che stavano per essere distrutti da attività inerenti le nuove costruzioni ed hanno anche mantenuto adeguate annotazioni dei lavori da loro condotti.

Contrariamente ad un'opinione piuttosto diffusa, i professionisti non sono affatto ostili ai dilettanti e non cercano davvero di tenerli lontani da quella che potrebbe essere la loro vocazione. Ciò di cui semmai il professionista si dà premura è che il dilettante possa apprendere le migliori tecniche e condurre con proprietà il suo lavoro. Il vero dilettante troverà che la maggior parte dei professionisti sono più che desiderosi di consigliarlo ed assisterlo nei suoi problemi e di suggerirgli le maniere in cui i suoi sforzi ed il suo impegno possano essere di utilità.

2

GLI SCAVI DI WAPANUCKET N. 6

Maurice Robbins, direttore della società archeologica di Attleboro del Massachusetts, spiega come un gruppo di dilettanti con la guida di professionisti, scoprì un antico villaggio indiano sulla spiaggia di Assawompsett Pond nella Contea di Plymouth e pertanto rovesciò alcune ben affermate conclusioni circa la coltura degli Americani primitivi. Sono inclusi nel capitolo consigli sulle cose corrette ed errate in cui può incorrere il dilettante di archeologia.

Quando il dilettante vede delle testimonianze di antichità in corso di distruzione da parte di macchine impegnate nella esecuzione di scavi nella zona, e quando si rende conto che non vi è un numero sufficiente di professionisti per eseguire gli scavi anche su di una piccola percentuale delle zone in cui questi sarebbero desiderabili, né le semplici discussioni e nemmeno l'entrata in atto di talune leggi lo dissuaderanno nel tentare qualche esperimento in una sorta di archeologia « illegale ».

La sola alternativa, a mio parere, è quella di educare i dilettanti e di cooperare con essi, richiedendone altrettanta collaborazione. La solidità di questo accostamento al problema dei dilettanti è stato tra l'altro dimostrato dalla nostra associazione, nel corso dei recenti scavi in un villaggio indiano di 2300 anni prima di Cristo, presso Middleboro, nel Massachusetts.

La maggior parte del lavoro in questa località, che venne denominata Wapanucket n. 6, era stata condotta dagli elementi della sezione Cohannet dell'Associazione Archeologica del Massachusetts. Il gruppo è composto di artigiani, elettricisti, un floricultore, un religioso, un cronista di giornali, un professore di storia, molti tecnici ed altri elementi più o meno profani, in una gamma d'età dai 20 ai 60 anni. Durante i cinque anni pre-

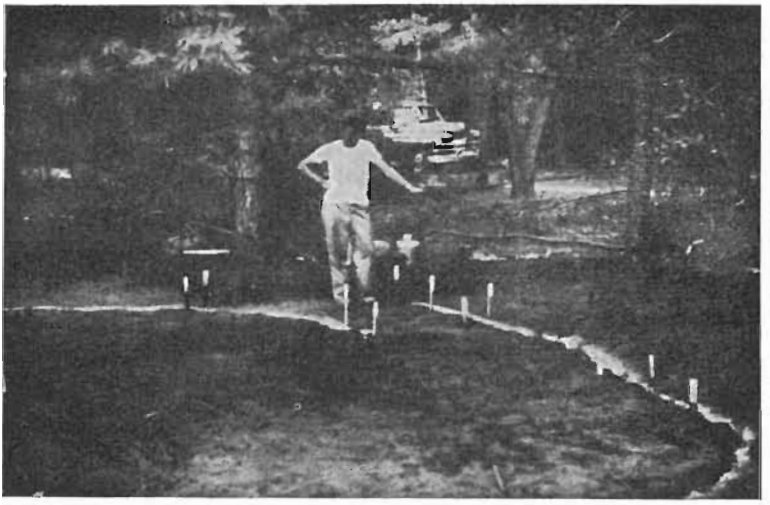
cedenti al loro lavoro a Wapanucket n. 6, questi dilettanti avevano seguito corsi di antropologia culturale e di tecniche di archeologia, banditi gratuitamente dal Museo dell'Associazione Bronson, ad Attleboro. Durante le stagioni estive, il gruppo aveva anche eseguito scavi in diverse località minori site nelle immediate vicinanze, dove potevano trovarsi i normali schemi archeologici esistenti negli Stati nord-orientali.

Nel corso di questi lavori preliminari, i dilettanti appresero molto dal volume polveroso dove viene annotata la storia dell'evoluzione dell'uomo, e sulla lingua nella quale tale volume è scritto, ossia nella lingua dei frammenti di pietra grezza e semilavorata, dell'argilla cotta, delle ossa e delle macchie nel terreno. Così tali ricercatori incontrarono immediatamente gli antichi autori che avevano scritto in quel volume, senza fare alcuno sforzo per nascondere i propri difetti e per accentuare le proprie qualità.

I dilettanti appresero ben presto anche che alcuni errori che possono entrare nella storia sono ad esempio quelli di interpretazione e sono pertanto imputabili al lettore.

È molto importante tenere presente che il gruppo giunse ad avere un profondo rispetto per un unico punto debole presentato dal libro: il fatto che la stessa fase della lettura di esso, da parte dello studioso, lo distrugge. Nessun concetto, né una sola parola, può essere esaminata nelle sue condizioni originali più di una sola volta. I componenti del gruppo appresero anche che coloro che avrebbero potuto avere la soddisfazione di essere i primi, e gli ultimi, a leggere in quelle pagine si addossavano una grande responsabilità. Essi debbono pagare, per questo privilegio, leggendo con grande cura ed annotando tutti i dati, in un dettaglio così preciso che gli altri in questa e nelle future generazioni, possano correggere eventuali errori nel corso della interpretazione originale.

Dall'epoca nella quale ebbero inizio i lavori a Wapanucket n. 6, già molte notizie si sapevano in merito agli indiani che per alcuni millenni avevano abitato nella regione. Nel progredire degli scavi apparve però evidente che un certo numero di precedenti affermazioni, specialmente quelle concernenti certi popoli che avevano vissuto in questa zona circa 3000 anni fa, avrebbero dovuto essere rivedute considerevolmente. In gene-



35. I paletti indicano la posizione dove si trovano i fori che in precedenza contenevano i paletti piantati nel suolo all'entrata nell'alloggio. La linea bianca di polvere segue approssimativamente il contorno delle mura.

rale, tre diversi livelli di civiltà vennero trovati negli Stati nord-orientali.

Quando si affonda la pala nel suolo, in zone adatte, si trovano punte di frecce ed altri oggetti degli Indiani più recenti, quasi immediatamente al disotto della superficie del suolo; a livelli più profondi si trovano invece i resti di civiltà più antiche. Lo strato più profondo si ritiene collegato ad un popolo che sembra giunto nella zona addirittura 5 o 6.000 anni prima di Cristo e si riferisce a quella che archeologicamente viene chiamata l'occupazione paleo-indiana.

Ben poco si conosce circa questi antichi migratori a parte il fatto che essi realizzavano delle punte di freccia con scanalature del tipo Folsom, trovate anche nel Sud-Ovest degli Stati Uniti. Ciò che può essere accaduto a queste antiche tribù è al di fuori dell'intuizione di chiunque: esse semplicemente scomparvero; se esiste qualche notizia circa la loro sorte deve ancora essere scoperta.

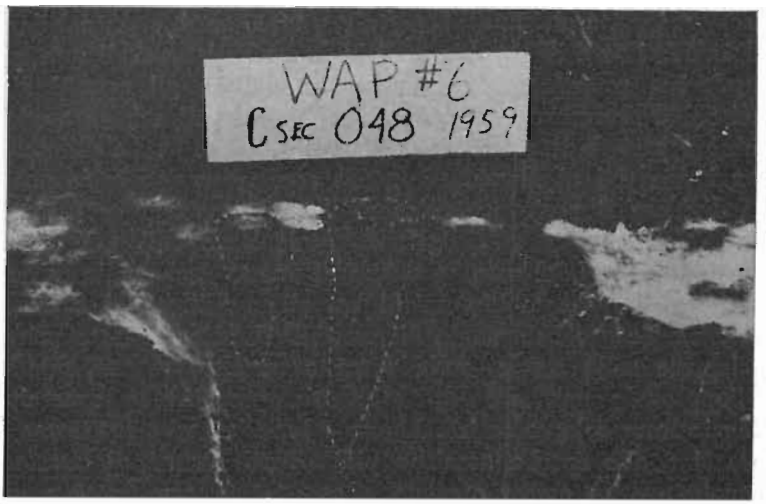
Lo strato intermedio, quello cioè situato al disopra del pa-

leo-indiano, si riferisce invece al periodo di una occupazione arcaica. Questa civiltà durò per circa 4.000 anni, ossia dal 5.000 al 1.000: i resti di questi popoli indicano l'esistenza di una graduale ma pronunciata evoluzione di civiltà: gli oggetti fatti nel 5.000 presentano una minore raffinatezza di rifinitura ed in minore varietà di quelli realizzati nel 1.000 a. C. Le differenze tra i due tipi di manufatti hanno consentito agli archeologici di dividere il periodo arcaico nelle componenti remota e recente. Wapanucket n. 6 era appunto la località di occupazione arcaica remota. Sebbene la natura di questo periodo sia tutt'ora soggetto di animate discussioni tra gli archeologi, si conviene in generale che l'economia di questi Indiani era basata principalmente sulla caccia, sulla pesca e su altre imprese relative all'approvvigionamento degli alimenti; erano invece sconosciute l'agricoltura e la ceramica. L'arco e le frecce non entrarono in uso sino alle epoche arcaiche più recenti; prima di queste il popolo arcaico aveva cacciato e combattuto con lance e giavellotti.

Finalmente verso il 1.000 circa a. C. si sviluppò la civiltà agricola: questi popoli erano degli agricoltori primitivi che coltivavano granturco, fagioli, zucche e simili. Essi risultarono anche eccellenti ceramisti e produssero bei recipienti in argilla. A causa dell'abbondanza e della sicurezza del cibo, il popolo di quest'epoca poté vivere in comunità relativamente numerose e costruire villaggi a carattere permanente.

L'aspetto agricolo dei popoli di quest'epoca ebbe un effetto abbastanza lontano sulla loro civiltà. La libertà dal bisogno di scorrere attraverso la regione alla ricerca dell'alimento lasciò loro il tempo per pensare a cose non materiali. Dopo pochi secoli, essi svilupparono per conseguenza complessi sistemi sociali, religiosi e politici; la loro evoluzione cominciò ad assumere l'aspetto di ciò che si può chiamare una protociviltà.

I primi esploratori dell'Europa giunsero nel Massachussetts, durante lo stadio finale di quest'epoca agricola; abbiamo pertanto eccellenti descrizioni degli ambienti in cui quei popoli vivevano e sappiamo il significato di ogni minima parte del loro espressivo linguaggio. Sfortunatamente, dal punto di vista archeologico, le zone dei bivacchi e dei villaggi che apparvero gradite dal popolo di quest'epoca erano esattamente le stesse



36. Cavità dei paletti che sostenevano le pareti di un alloggiamento, esse sono visibili, soprattutto, per le macchie esistenti nel suolo. Le linee bianche tratteggiate sono state tracciate per chiarimento, sui contorni delle cavità.

scelte dai loro predecessori. In conseguenza a ciò, è abbastanza comune trovare un villaggio di quest'epoca sovrapposto ad uno del periodo arcaico. Gli arnesi lasciati da entrambi i gruppi si sono spesso mescolati specie in quelle zone che mostrano il segno di un aratro coloniale. Però da questi metodi di topologia e dall'analisi dei prodotti in funzione dei loro tipi conosciuti come prodotto di ciascuna delle civiltà, gli archeologici possono riconoscere la presenza di più di un gruppo di arnesi e possono per la maggior parte distinguerli in gruppi, in funzione della loro epoca di origine.

Per esempio la preferenza degli Indiani arcaici per la realizzazione di punte di armi con impugnature è ben conosciuta; sono anche caratteristiche di quest'epoca le accette con scanalature, nonché certi tipi di scalpelli. In più gli antichi Indiani svilupparono una speciale tecnica per il taglio, la molatura e la lucidatura della pietra da cui essi modellavano coltelli di una caratteristica forma a mezzaluna e recipienti in steatite; sono

questi elementi positivi di informazione di una occupazione Arcaica.

Sino ad un'epoca recente, gli aspetti non materiali della cultura arcaica, erano praticamente sconosciuti e soggetti ad una grande speculazione; dato che in quell'epoca non veniva esercitata l'agricoltura, gli Indiani arcaici erano interamente dipendenti per le loro necessità dagli animali e dalle piante selvatiche.

Una qualsiasi concentrazione di persone viventi in una tale economia, avrebbe avuto il risultato di un rapido esaurimento delle possibilità di vita o così, comunque, si riteneva. In conseguenza di ciò, la scoperta di un villaggio arcaico era ritenuta estremamente improbabile. Gli arnesi di pietra derivati da questo periodo remoto, sono stati trovati in caverne di roccia come anche in località all'aperto; si supponeva che i rifugi realizzati dal popolo arcaico avrebbero dovuto essere delle realizzazioni molto precarie di cui nessun vestigio avrebbe potuto rimanere.

Questa conclusione sembrava ragionevole, poiché il popolo arcaico era così preoccupato per la continua necessità di cibo ed era così disperso nell'ambiente che lo circondava che non avrebbe avuto né il tempo né l'occasione per qualsiasi concetto sociale, politico, o religioso, che non fosse stato il più primitivo. Tutte queste conclusioni vennero dimostrate completamente errate dai dilettanti nel corso dei loro lavori a Wapanucket n. 6.

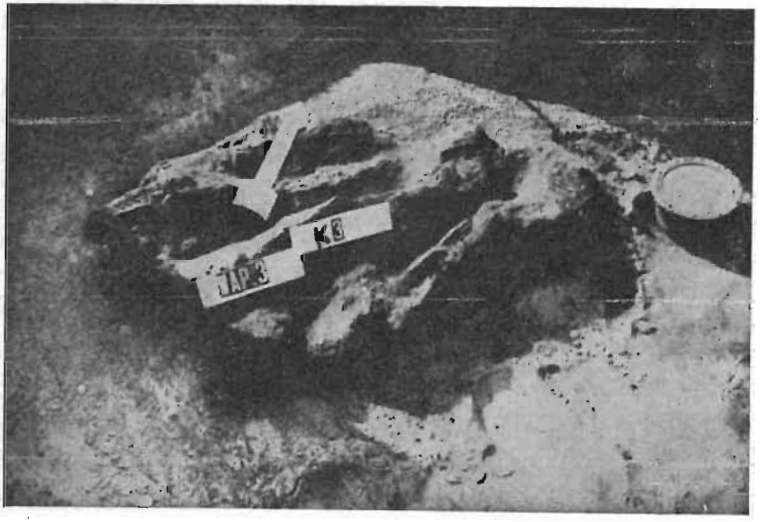
La località si trova sulla costa settentrionale dell'Assawompsett Pond; originariamente questa zona era una parte di un'antica colonia madre di Plymouth; Assawompsett è il più grande specchio naturale di acqua dolce del Massachusetts, dell'estensione di 550 ettari. Forma una parte del sistema di scarico del fiume Taunton che, assieme ai suoi molti affluenti, offriva agli abitanti originari un facile percorso per i loro viaggi: poche ore spese nelle loro canoe sarebbero bastate per portarli sulla costa del mare, oppure nelle foreste più interne.

La costa settentrionale del lago è formata da una duna di sabbia affiancata da acquitrini e piccoli corsi d'acqua; la sua sponda si eleva gradatamente dal livello dell'acqua sino ad un'altezza di 7,20 metri e la sommità di tale duna offre alcuni ettari di zona in pianura e bene asciutta. Questa zona è stata appunto la località di occupazione da parte dei popoli sin dal

momento in cui l'uomo aveva fatta la sua comparsa nel New England.

Nella primavera del 1956, una sezione di ricognizione inviata dal gruppo Cohannet, scavò diverse aree di prova distribuite a caso, nella zona boscosa situata appena dietro al fronte del lago. La comparsa di pozzetti indiani per la raccolta dei rifiuti, di pietre sgretolate dal fuoco e da residui derivanti dalla lavorazione di oggetti in pietra, confermò prontamente la nostra speranza che quella zona aveva servito, qualche volta, per un bivacco di qualcuno dei popoli più remoti.

Le condizioni preliminari per uno scavo archeologico di tipo controllato da professionisti, sono: un'accurata esplorazione dell'area da esaminare, la determinazione dei livelli in relazione ad alcuni oggetti immobili, quali grosse rocce od anche paletti di rilevamento, nonché la determinazione di una quadrettatura, sulla zona dove eseguire gli scavi, composta da linee parallele ed intersecantesi, misurate con precisione, da utilizzare come riferimenti nella successiva stesura di una carta per annotare la precisa posizione degli oggetti trovati.



37. L'età dei resti carbonizzati trovati in questo focolare è stata valutata con il metodo del radiocarbonio e risulta di 4250 anni circa, con approssimazione, in più od in meno, di 300 anni.

Questa era in effetti la prima serie di operazioni; paletti numerati erano disposti ad intervalli di 2 metri, per delimitare una zona lunga 52 metri e quasi parallela alla spiaggia. Successivamente il gruppo asportò un sottile strato superficiale del terreno lungo la prima linea, ossia la cosiddetta linea di base. Più tardi ebbe inizio il duro lavoro dello scavo su grandi zone del terreno superficiale, alla profondità di 25 millimetri per volta ed il successivo esame di ciascuna superficie appena messa allo scoperto, alla ricerca di tracce anche poco evidenti dell'occupazione da parte dell'uomo. Frammenti di pietre lavorate, manufatti, focolari, pozzetti o qualsiasi altra indicazione di presenze remote veniva localizzata, sia orizzontalmente che verticalmente, annotandone la posizione con riferimento ai paletti numerati e venivano riportate su schede preparate a tale scopo. I dati accumulati su tali schede venivano poi trasferiti su di una carta generale, detta piano di progresso della zona; venivano fatte annotazioni del tipo di terreno via via incontrato, della presenza di focolari e pozzetti, della posizione di eventuali vecchi paletti di legno: la presenza di macchie nel terreno indicava la posizione di tali paletti, anche se questi si erano ridotti in polvere molti secoli addietro.

I paletti ed i segni da questi lasciati sono facili da riconoscere: dopo l'asportazione dello strato superficiale di terreno, le cavità lasciate dai paletti appaiono come macchie oscure per lo più circolari in mezzo al terreno circostante generalmente giallastro. Un taglio verticale mette allora allo scoperto la sezione perpendicolare di quella porzione del paletto che era piantato nel suolo; la maggioranza di segni trovati a Wapanucket n. 6 presentava le pareti laterali abbastanza levigate che si concludevano in una punta piuttosto acuta, a varie profondità. Informazioni di questo genere, unitamente a molte fotografie, costituivano le note campali su cui il gruppo basò le sue conclusioni finali.

Man mano che lo scavo progrediva ed i manufatti prendevano ad accumularsi, il gruppo ebbe la certezza che nessuno dei materiali reperiti era caratteristico del periodo agricolo: era anzi, dall'aspetto, decisamente arcaico. Il fatto non poteva ancora essere preso in seria considerazione, in quella fase preliminare degli scavi ma era comunque sufficientemente pronun-

ciato da stimolare un certo interesse. I segni lasciati dai paletti di legno cominciavano, fra l'altro, a costituire, nella loro successione, delle linee, formanti disegni nuovi ed insoliti.

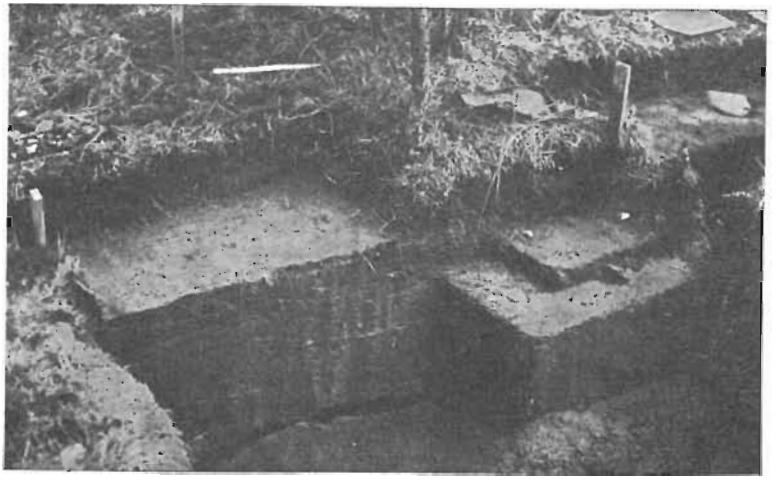
Col passare delle settimane, i reperti trovati, possedevano tutti la loro caratteristica arcaica; il gruppo prese, quasi senza accorgersene, a parlare di questa località come di una zona arcaica. Nei momenti più riflessivi comunque, dubitavamo ancora della nostra affermazione; la maggioranza dei manufatti, le tracce dei paletti, nonché i segni dei pozzetti e dei focolari, stavano apparendo ad una profondità pressoché uguale a quella dove venivano trovati, in altri punti della zona, oggetti caratteristici del periodo agricolo.

Si sollevavano a questo punto questioni tali da lasciare perplessi: come era infatti possibile che queste tracce di occupazione si potessero conservare con così poco danno, sin dall'epoca arcaica? Perché una zona così favorevole era in effetti priva di qualsiasi traccia di occupazione delle genti dell'epoca agricola? Dovevamo dunque abbandonare le opinioni concernenti le limitazioni della caccia, della pesca e della raccolta del cibo confermate con tanta certezza da molte autorità scientifiche? Avremmo noi potuto giustificare l'esistenza, non solo di una sosta permanente, ma anche quella di un intero villaggio arcaico?

Sulla base di questi nostri ritrovamenti, le risposte a tutte le domande di cui sopra dovevano necessariamente essere positive. Le nostre carte mostravano indiscutibilmente tracce di almeno tre alloggiamenti, strutture queste più grandi di tutte le altre conosciute da altri del periodo agricolo ed uno strato che mai, almeno secondo quanto noi potemmo accertare, era stato scoperto prima.

I reperti erano, senza eccezione, quelli di una tarda cultura arcaica; sebbene una zona notevolmente ampia fosse stata scavata, a questa fase dei lavori, non era apparso nessun manufatto che non corrispondesse, per le sue caratteristiche, all'epoca.

Durante le due successive stagioni, furono trovati altri quattro strati di alloggiamento che presentavano la stessa, unica conformazione. Da quest'epoca, tracce di paletti di legno, per un totale di 556, erano state annotate e gli scavi erano stati estesi sino ad una ragionevole distanza, in tutte le direzioni,



38. Un dettaglio della zona, per mettere in evidenza il procedimento per gli scavi.

senza scoprire altri strati simili: convenimmo pertanto che l'intero villaggio era già stato messo allo scoperto.

I contorni delimitati dalle linee passanti per tutti i segni dei paletti accertarono l'esistenza di un tipo di piano completamente nuovo, il quale si era ripetuto in sette occasioni. Nella costruzione di queste sette case, alcune coppie di paletti erano state piantate nel terreno a formare due cerchi concentrici. Le coppie di paletti apparivano disposte su linee radiali a partire dal centro della struttura e tutte risultavano piantate nel terreno in posizione perfettamente perpendicolare.

La sezione verticale, appuntita, dal fondo delle tracce lasciate dai paletti, indicava che i paletti stessi erano stati piantati direttamente, piuttosto che introdotti in fori preparati precedentemente. Ciò suggeriva a sua volta che l'altezza della parete non era maggiore di quella di un paletto che avrebbe potuto essere piantato da un uomo che sostasse a terra. Ad un certo punto in ciascuna delle strutture, le pareti si scavalcavano, per formare una corta via di accesso abbastanza protetta.

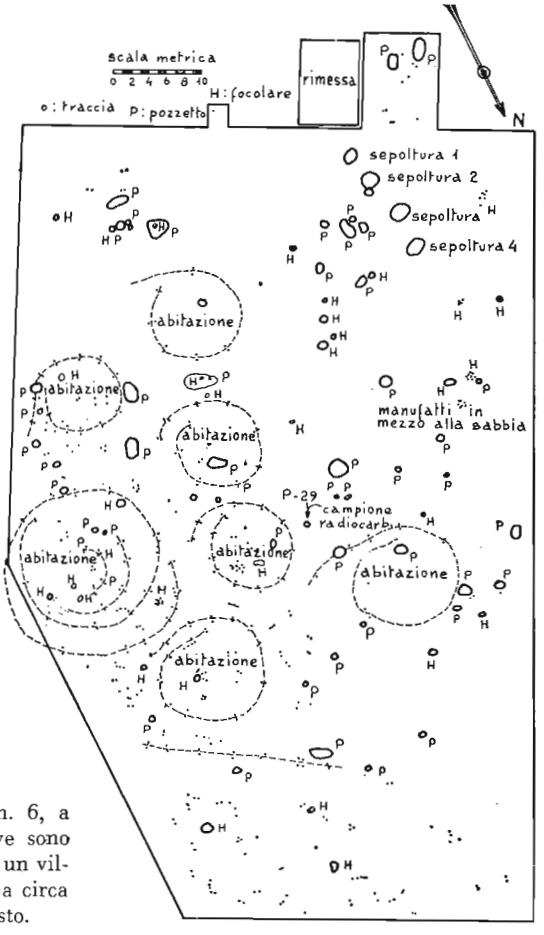
Sei di queste strutture, apparentemente destinate ad abita-

zioni avevano un diametro medio di 9,30 metri. La settima, che si riteneva avente una funzione diversa, cerimoniale o religiosa, aveva un diametro di 19,80 metri e presentava nell'interno dei suoi contorni tracce di paletti che non si trovavano invece in nessuna delle abitazioni più piccole. La nota che accompagna la pianta, fig. 39, mostra la disposizione di questo unico villaggio arcaico, il primo che era stato individuato nel Nord-Est.

Durante lo scavo di un villaggio indiano s'incontrano certe caratteristiche che, nelle relazioni finali, sono chiamate pozzetti o focolari, in dipendenza del loro aspetto, del loro contenuto e della posizione verticale di esse rispetto alla terra. Gli avvallamenti simili a vaschette alla superficie o vicini a questa, che contengono carbone di legna o piccole tracce di legno parzialmente carbonizzato ed, in particolare, quelle circondate da terra indurita ed arrossata, vengono di solito chiamati « focolari ». 39 di questi focolari erano stati trovati ed annotati a Wapanucket n. 6, le vaschette simili in forma ma leggermente più grandi sono invece chiamate « pozzetti ». Molti di questi contengono materiali parzialmente bruciati o carbonizzati e delle pietre bruciate: essi sono stati ritenuti destinati a servire come punto di raccolta di tutti i rifiuti del villaggio. Il pozzetto contrassegnato con il numero 29 è di particolare importanza in questo villaggio: l'età di un campione di carbone prelevato da esso è stata stabilita presso il laboratorio Geocronometrico dell'Università del Michigan, ed è risultata di 4.250 anni, con un'approssimazione in più o in meno, di 300 anni, ossia risalente ad un'epoca di 2.300 anni a. C.

I sepolcri di Wapanucket n. 6, vennero trovati a pochi metri verso Sud-Ovest, rispetto al piano dell'abitazione n. 1. Essi consistevano di quattro depositi in pozzetti di grandi dimensioni e di forma ovale. I resti cremati di scheletri umani, erano stati disposti nel quadrante a Sud-Ovest di ciascun pozzetto. In due casi erano stati anche inclusi oggetti tombali ed in un'occasione era anche presente un notevole quantitativo di vernice rossa, nella forma di un ossido di ferro di questo colore.

Il sepolcro n. 2 conteneva un deposito di quattro scalpelli di pietra, una specie di foglia di pietra, ritenuta un pesetto per una lenza da pesca e due pietre per affilare, circondate da una massa di vernice rossa. Nel sepolcro n. 3 vennero trovati un col-



39. Pianta del punto n. 6, a Wapanucket, luogo dove sono state trovate le tracce di un villaggio indiano risalente a circa 2300 anni prima di Cristo.

tello a mezzaluna di grandi dimensioni e di ardesia molata ed una pietra per affilare. Le pietre per affilare di questo tipo erano prodotte solamente dagli Indiani arcaici dell'epoca più tarda.

Prima della scoperta dei sepolcri, erano stati trovati due grandi elementi, vicini, a cui il nostro gruppo si era trovato incapace di attribuire una funzione accettabile. Essi consistevano di piattaforme di pietra sistemate molto accuratamente aventi un diametro di circa 3 metri. Le schegge piane di pietra

erano arrossate ed apparivano screpolate dall'esposizione ad un intenso calore; inoltre un grande quantitativo di carbone di legna si trovava attorno ed al disopra di essi. Tali piattaforme erano troppo grandi per potere essere classificate come semplici focolari e ci trovavamo nella impossibilità di catalogarle. Con la scoperta delle tracce di cremazione nelle sepolture, la funzione di questi divenne comunque chiara: si trattava di aree crematorie dove veniva condotta la fase iniziale del rito funebre.

Il gruppo riuscì a raccogliere un totale di 1.167 manufatti di pietra nella zona del villaggio, comprendendo in questa cifra uno o più elementi di ciascun tipo, esistenti nell'attrezzatura di ciascuno degli abitanti. Gli utensili, scolpiti o scheggiati, comprendevano delle punte di proiettili, di lance e di giavellotti, coltelli, trapani, raschietti ed altri strumenti assortiti specialmente adatti per la lavorazione del legno. Questi accessori assommavano a più dell'80% dell'intero numero di oggetti raccolti. Per il resto, gli accessori erano quelli realizzati con le tecniche del taglio, della molatura e della lucidatura tipiche del tardo periodo arcaico.

Gran parte delle informazioni rappresentate dal materiale estratto dagli scavi a Wapanucket n. 6, è in diretto contrasto con le opinioni precedenti, relative alla coltura ed alle maniere di vita nell'epoca arcaica: è, ad esempio, evidente che gli abitanti di Wapanucket n. 6 condussero un'esistenza semisedentaria. Sembra altresì ovvio che essi sceglievano la posizione dove installarsi, piuttosto per ragioni di convenienza, che per esigenze di protezione e di difesa; vivendo sui più alti ripiani esistenti sulle sponde del lago, essi potevano trarre vantaggio da una considerevole parte della zona. La stessa dimensione dei loro alloggiamenti offre una sensazione della stabilità e della sicurezza che quel popolo doveva godere: gli alloggi avrebbero infatti potuto accogliere almeno un centinaio di persone.

La spiegazione di questo risiede senza dubbio nelle dimensioni del lago: qui ad Assawompsett, con le correnti e le maree, vi era abbondanza di alimento che, non fosse per la nostra poca esperienza per la vita primitiva, avevamo mancato di mettere nella giusta importanza. Nella primavera, le annuali migrazioni delle aringhe e forse del salmone e della trota avrebbero

40. Oggetti funebri nella posizione esatta che occupavano al momento del ritrovamento a Wapanucket n. 6.

già potuto assicurare un abbondante rifornimento di cibo. Si può supporre che qui gli uccelli migratori tendessero a riunirsi e, nella palude che circondava la zona, doveva esservi una considerevole selvaggina.

Dopo un'invernata spesa nello scorrere le foreste verso Nord ed Ovest, in piccoli nuclei familiari, un popolo antico sarebbe tornato, per queste condizioni naturali, a questa zona così privilegiata, in vicinanza del lago. Qui, quel popolo, avrebbe trovata una gradita variazione dalla dieta di sola carne che aveva avuto durante l'inverno; inoltre un'abbondante provvista di pesce affumicato avrebbe potuto essere qui preparata in previsione di una successiva epoca in cui le altre qualità di cibo sarebbero state scarse. Nella loro grande costruzione cerimoniale, gli abitanti del villaggio potevano celebrare quei riti che ritenevano necessari in funzione delle loro credenze religiose e qui, coloro che si erano spenti durante l'inverno potevano essere deposti per il loro riposo eterno.

Grazie all'iniziativa ed agli sforzi di un ristretto gruppo di dilettanti, un capitolo dell'antico libro della storia del mondo e dell'uomo era stato conservato con cura e, con l'aiuto dei professionisti, aveva potuto essere interpretato. Molte nuove cognizioni sono state aggiunte a quanto già da noi risaputo circa le occupazioni dell'epoca arcaica del Nord-Est, e forse altre potranno ancora derivare dallo studio dettagliato dei reperti e delle annotazioni fatte dal gruppo.

Il gruppo in questione è adesso al lavoro per la realizzazione di una copia completa in miniatura di quel villaggio, al Museo Bronson, in modo che tutti possano vedere come vivevano gli abitanti del villaggio di Wapanucket, molti secoli prima che Tutankhamen fosse sepolto nella sua tomba, a Tebe.

III.

BIOLOGIA

1. *Come si coltivano innocui batteri da usare nelle osservazioni*
2. *Come si allevano le alghe*
3. *Esperienze di psicologia su di un ratto da laboratorio*
4. *Misurazione del metabolismo degli animali*
5. *Esperimenti di cromatografia*
6. *Elettroforesi di zona*

1

COME SI COLTIVANO INNOCUI BATTERI DA USARE NELLE OSSERVAZIONI

È possibile accentuare e rallentare la crescita delle piccolissime piante chiamate « batteri » con l'impiego di tecniche abbastanza note, specialmente agli agricoltori. Due studenti in medicina di New York, Henry Soloway e Robert Laurence, spiegano come avviare un vero e proprio giardinaggio sia pure a livelli microscopici ed, in particolare, come condurre esperienze su quelle moderne sostanze diserbanti, alle quali si attribuiscono delle proprietà talvolta eccezionali.

La seguente serie di esperimenti è stata pianificata allo scopo di dimostrare come alcuni batteri possono essere influenzati, nel loro ciclo vitale, da agenti batteriostatici, ossia da sostanze che hanno l'effetto di ritardare la crescita di talune specie di essi. Esperimentando con queste sostanze sarà possibile, da principio, introdurre un singolo batterio in un ambiente che favorisca il suo sviluppo, indi esporre il batterio stesso all'effetto delle sostanze o degli agenti batteriostatici, e quindi, valutare i risultati e specialmente le differenze nel suo comportamento.

I batteri, come praticamente tutte le forme di vita, hanno determinate preferenze in fatto di alimentazione, di temperatura, ed umidità ambientali, e di molti altri fattori analoghi. Pertanto non può esistere un ambiente ideale per la coltura dei batteri, in cui tutte le specie di questi organismi possano ugualmente trovarsi in perfette condizioni; volta per volta, pertanto, occorre comporre un ambiente di coltura che possa incontrare, nella maggior parte, le preferenze dei batteri che si intendono studiare. Comunque, un ambiente nel quale possono

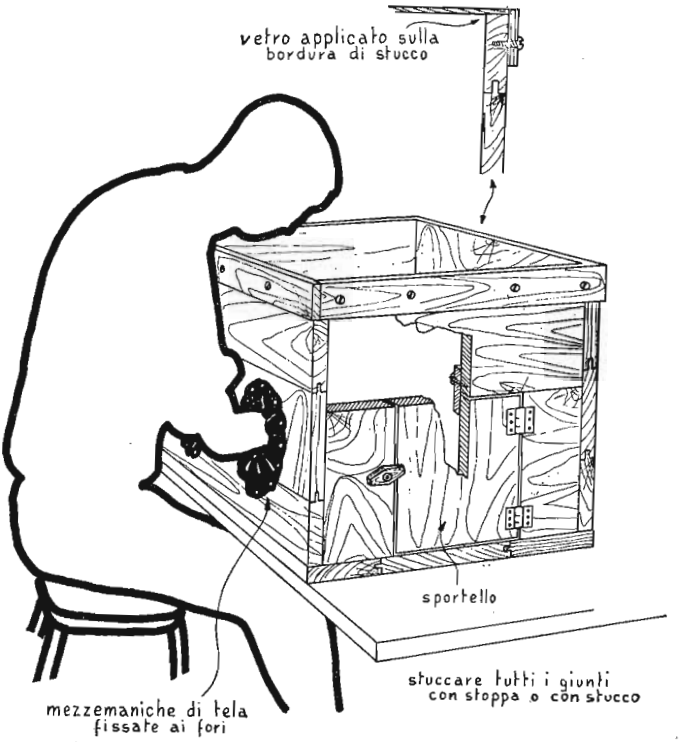
vivere in manira soddisfacente migliaia di specie di microorganismi, è il brodo di coltura, vale a dire il comune consommé che appare sulle nostre tavole, opportunamente raffinato e trattato in maniera conveniente. Tale ambiente può venire usato con risultati comparabilmente uguali, sia allo stato liquido, come anche sotto forma di una gelatina semisolida, ove sia addizionato con qualche colloide, quale la gelatina di alghe agar.

Come nelle vere colture normali, anche in quelle microscopiche, può essere desiderabile controllare, mantenendole al minimo livello di sviluppo, le « erbe » comuni. Spesso si è infatti interessati ad una sola specie di batteri e dato che le dimensioni degli organismi interessati alle colture rendono praticamente inattuabili i procedimenti convenzionali del diserbamento, gli organismi indesiderati debbono essere prevenuti prima che possano svilupparsi in misura tale da non potere più essere combattuti. Questo si può conseguire eliminando ogni genere di vita microscopica nella zona circostante all'esperimento, lasciando in vita solo il microorganismo che si desidera esaminare. Per prima cosa, si tratta pertanto di sterilizzare accuratamente la sostanza di coltura e tutta l'attrezzatura che s'intende usare negli esperimenti, esporre la coltura ed il resto, ad un ambiente esclusivamente sterilizzato ed infine mantenere perfettamente antisettico ogni elemento interessato agli esperimenti.

Preparazione degli esperimenti

Queste condizioni necessarie possono essere facilmente mantenute se lo sperimentatore si provvede di una speciale camera antisettica di trasferimento, nella quale possano essere condotte tutte le fasi critiche delle operazioni. Tale camera può ridursi ad una semplice cassetta di legno delle dimensioni di 90 centimetri di altezza e 60 centimetri di larghezza alla quale si applica un coperchio di vetro che sostituisca, in tutto o nella maggior parte, la superficie superiore. In una delle pareti si ricava uno sportellino di accesso abbastanza ampio, perfettamente chiudibile, ed in un'altra si eseguono due fori pressoché circolari, a distanza adatta e di diametro tale per cui essi, possano accogliere le mani e gli avambracci dell'operatore senza dare a que-

sti un eccessivo disagio, come appare nella fig. 41. Tutte le spaccature presenti nel legno, specialmente dovute ad invecchiamento ed a stagionatura delle assicelle, debbono essere ben pulite e stuccate con cotone ed impasto comune od anche con filamenti di cotone e vinavil. È anche utile applicare ai fori circolari due specie di manichette di cotone, terminanti con un elastico abbastanza stretto in modo che, quando le mani dell'operatore sono introdotte in queste, esso risulti serrato attorno ai suoi polsi e quando l'operatore si allontana esso riesca ad intercettare praticamente il passaggio dell'aria attraverso questa via in direzione della camera. Occorrono, poi, oltre alla cassetta, tra le altre parti, una lampada ad alcool, una piccola spruzzetta, od atomizzatore, quale una peretta per inalazioni nasali del Lysol o del Clorox. La vetreria dovrebbe comprendere tra l'altro, due dozzine di capsule Petri, aventi un fondo piatto di circa 10 centimetri di diametro ed un'altezza di circa 12 millimetri munite di coperchio. Occorreranno anche tre recipienti Erlenmeyer da un litro e una dozzina di recipienti analoghi ma della capacità di solo 250 millimetri; in più sarà opportuno disporre di mezza dozzina di provette da 20 millimetri ed una struttura di legno per sostenerle, nonché una dozzina di pipette da 1 millimetro ed una speciale pompetta o siringa di gomma o plastica per il riempimento di queste, un cilindro con base graduata della capacità di 50 millimetri, una matita grassa a pastello per tracciare, ove necessario, dei segni di riferimento sulla superficie del vetro, una punta od ago per dissezione montato su di un manichetto sottile di legno, od anche inserito semplicemente nel mandrino di una matita tascabile a mina continua, un piccolo anello di sottile filo di metallo, montato su di un analogo manichetto, una bacchetta di plastica o plexiglas della lunghezza di 20 centimetri, con cui mescolare i vari ingredienti, ed uno o più paia di pinzette. Da precisare che non tutta questa attrezzatura può essere accolta nella camera asettica, nella quale occorre anzi un certo spazio libero per potere eseguire le necessarie operazioni: ne deriva che nella cassetta è possibile sistemare solamente gli elementi indispensabili, magari ancorati a ganci applicati lungo le pareti interne della camera stessa; tutti gli altri elementi dell'attrezzatura debbono stare su di un tavolo a portata di mano. L'intero insieme sugge-



41. Camera sterile di manipolazione, adatta per una costruzione dilettantistica.

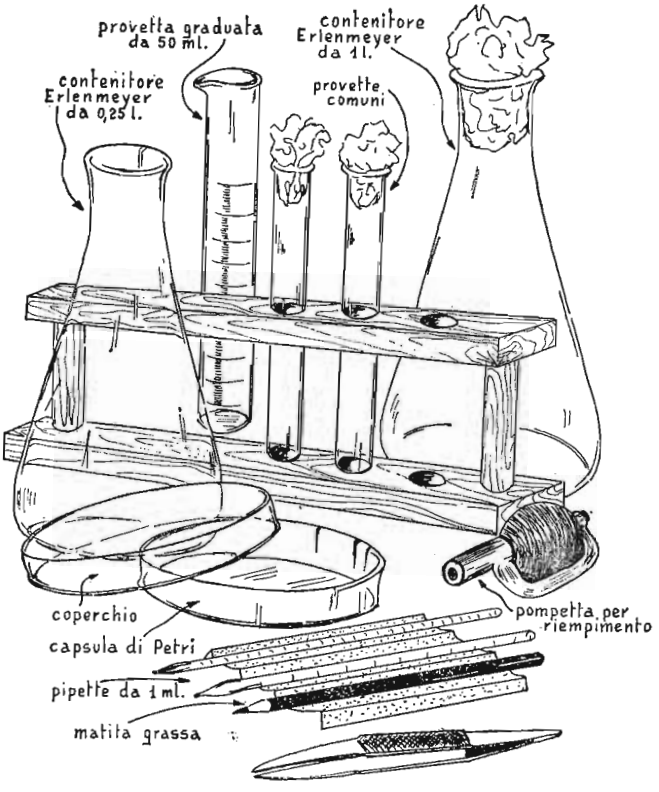
risce quindi la necessità che sia disponibile un tavolo di grandi dimensioni, che non si debba utilizzare altrimenti, in modo che tutta l'attrezzatura possa esservi lasciata sopra indisturbata, condizione questa assai importante per la buona riuscita delle colture.

Tutta l'attrezzatura deve essere quindi sterilizzata, e per questo si tratta di prendere le capsule Petri e le pipette, di avvolgerle in carta scura in gruppi di 6; i contenitori, quali le provette e le bottiglie coniche di Erlenmeyer, vanno chiuse alla imboccatura con un tampone di cotone. Tutta la vetreria deve poi essere introdotta in un forno a freddo, esservi portata alla temperatura di 165 centigradi e lasciata in queste condizioni

per almeno un paio di ore; quindi lasciata a se stessa a raffreddare naturalmente. Nessuno dei pacchetti realizzati con la carta e contenenti i recipienti, provette, ecc. deve essere da questo momento aperto, sino a quando non sarà giunto il momento della utilizzazione.

Veicoli disidratati di coltura o, come questi vengono comunemente definiti, brodi di coltura possono essere acquistati praticamente in tutte le ditte di prodotti chimici, o meglio ancora, possono essere richiesti direttamente alla maggiore casa italiana di tali prodotti, ossia alla Carlo Erba, via Imbonati 24, Milano. Detti veicoli sono disponibili sia nella forma più semplice come anche con l'aggiunta di gelatina di alghe agar, la cui presenza darà luogo ad una massa gelatinosa relativamente immobile. Ad ogni modo, poiché lo scopo di queste esperienze è quello di dare modo al lettore di provare il maggior numero delle tecniche basiche di coltura, dal loro inizio alla loro applicazione pratica, anche la preparazione dei brodi stessi di coltura potrà rappresentare un aspetto sperimentale degno di un qualche interesse. Viene appunto fornita qui appresso la ricetta per il procedimento per tale preparazione.

Si sgretola in un litro di acqua distillata e fredda mezzo chilo circa di carne di ottima qualità, da poco macinata finemente, indi si inserisce il recipiente di vetro nel quale è stata compiuta l'operazione e che contiene ancora la miscela, nel frigorifero, predisposto perché nella zona del contenitore vi sia una temperatura di circa 5 centigradi, e si lascia tale miscela riposare per dieci ore. Poi si raccoglie il grasso che può essersi accumulato alla superficie e si filtra il liquido rimasto attraverso un doppio strato di garza non apprettata e fitta. Si aggiunge quindi altra acqua distillata sino a portare il quantitativo del liquido filtrato a circa 1 litro, poi a questo si aggiungono 5 grammi di peptone (Carlo Erba) e 5 grammi di sale comune da cucina, dopo di che si mescola a fondo sino a quando il sale stesso non si sia del tutto disciolto. Dell'intero quantitativo di liquido così ottenuto, si preleva un quantitativo di 50 millilitri che si versano in un altro contenitore che per il momento si mette da parte. Si aggiungono poi 15 grammi di gelatina di alghe agar alla porzione di 950 millilitri del liquido, dopo che da questo era stato fatto il prelevamento.



42. Attrezzatura fondamentale per esecuzione di qualche esperimento con i batteri.

I batteri come tutti gli organismi viventi, sono sensibili al livello di acidità e di basicità dell'ambiente nel quale sono coltivati. In particolare, quelli che vengono allevati nel corso di questo esperimento, preferiscono un ambiente sostanzialmente neutro, a pH = 7. Le due soluzioni di brodo di coltura preparate secondo le istruzioni di cui sopra, presentano un certo livello di acidità e debbono pertanto essere trattate in modo da essere portate nuovamente alle condizioni di neutralità: a tale scopo si tratta di aggiungere solo un quantitativo minimo di soluzione di idrato di sodio (Carlo Erba), sufficiente per contrastare

l'acidità presente. Occorrono 10 grammi di idrato di sodio in cristalli, che si disciolgono in un litro di acqua distillata.

Preparata la soluzione, si prova il grado di acidità del brodo di coltura con una cartina reattiva azzurra al tornasole. La presenza di una certa percentuale di acidità darà luogo al viraggio della cartina verso il colore rosso. L'aggiunta, a gocce, della soluzione di idrato di sodio al brodo porterà invece la cartina di tornasole rossa al colore blu. Si procede come segue: si aggiunge una goccia o due di soluzione di idrato di sodio al brodo, quindi si mescola bene questo ultimo con la bacchetta; con questa, poi si preleva una goccia del brodo e la si fa cadere su di una cartina azzurra al tornasole; con tutta probabilità, la cartina, nel punto inumidito dalla goccia tenderà ad assumere una colorazione rossa: si tratterà pertanto di aggiungere al brodo altre due gocce di soluzione di idrato di sodio e quindi ripetere le operazioni della miscelazione e del prelevamento di minimi quantitativi di brodo da applicare su di un punto ancora non utilizzato della cartina azzurra. In breve, si tratterà di ripetere continuamente queste operazioni, peraltro semplici, aggiungendo sempre minimi quantitativi di idrato ogni volta, sino a quando la sostanza posta in contatto con la cartina non determini più alcuna variazione di colore. Da notare che una volta raggiunta questa condizione è utile eseguire una controprova, che consiste nell'applicare una goccia di brodo, anche su di una cartina reattiva di colore rosso: nelle perfette condizioni di neutralità infatti, il brodo, non deve determinare la variazione di colore sia nella prima come nella seconda cartina; ove invece si noti che la cartina rossa tende a virare, anche leggermente, all'azzurro, si potrà diagnosticare la presenza di una piccola basicità che va combattuta con una soluzione debolissima (10 gocce in 1 litro di acqua distillata), di acido cloridrico.

Ciascuno dei due contenitori viene quindi portato alla temperatura di 100 centigradi, per mezz'ora: ciò darà luogo alla coagulazione ed alla precipitazione delle proteine contenute nel brodo. Tali proteine dovranno appunto essere rimesse, facendo passare il brodo ancora caldo, attraverso ad una carta di filtro alquanto grossolana. Entrambi i quantitativi del filtrato si portano quindi nuovamente alla misura originaria con l'aggiunta di poca acqua distillata.

Cento millilitri di brodo di coltura con agar vengono versati in ciascuno dei 6 contenitori Erlenmeyer che sono poi chiusi con un tappo di cotone compresso. Cinque millilitri del brodo non contenente agar, sono invece versati in ciascuna delle dieci provette che vanno subito, ugualmente, tappate con tamponi di cotone pulito e compresso.

A questo punto sarà necessario sottoporre tutte le preparazioni sinora fatte alla sterilizzazione, il che si può attuare immergendo tutti i vari contenitori in acqua che poi viene portata alla ebollizione per mezz'ora e ripetendo quindi il trattamento per altri due giorni successivi. Coloro che l'abbiano a disposizione potranno anche usare, per la sterilizzazione, una pentola a pressione: in tale caso dovranno sistemare i contenitori nella pentola stessa, aggiungere in questa ultima dell'acqua sino a portare il livello di questa a 50 millimetri circa e quindi chiudere l'apparecchio che vien lasciato nello stato di ebollizione per una ventina di minuti. Adottando questa soluzione occorre avere l'avvertenza di curare che la pentola a pressione si possa raffreddare lentamente come lentamente era stata portata alla temperatura elevata. Infatti, se si prova ad accelerare il raffreddamento della pentola inumidendo l'esterno di questa con acqua fredda, può accadere che tale raffreddamento dia luogo ad un repentino abbassamento della pressione del vapore nell'interno e questo porti il brodo di coltura contenuto nei recipienti nella condizione di bollire violentemente versandosi magari all'esterno.

Sia che si adotti il primo come il secondo dei procedimenti citati, va precisato che essi si possono prestare altrettanto bene anche per la sterilizzazione non solo del brodo di coltura, ma anche di sostanze diverse come, ad esempio, di soluzioni varie da usare nei successivi trattamenti, od ancora, per rendere praticamente sterile l'acqua prelevata dai rubinetti dell'impianto idrico casalingo: in quest'ultimo caso, però, occorre una ulteriore precauzione; tale acqua, infatti contiene quasi inevitabilmente delle sostanze calcari, mantenute in soluzione per il fatto di fare parte di bicarbonati e composti simili. Nella maggior parte dei casi può essere desiderabile la eliminazione di queste sostanze così da avere a disposizione un'acqua quanto più possibile pura e prossima a quella distillata. Lo scopo può

essere raggiunto con il mantenere a lungo in ebollizione un determinato quantitativo di acqua: parte del liquido evaporerà, ma quello rimasto, per una reazione chimica nella quale verrà sciolto parte del gas carbonico che contiene, depositerà sulle pareti interne del recipiente, preferibilmente di vetro, il contenuto calcare, dopo di che il liquido rimasto, filtrato, sarà composto quasi esclusivamente di acqua chimicamente pura.

Qualsiasi specie non patogena di batteri può essere impiegata per questi esperimenti di batteriostasi. Il *Micrococcus pyogenes* var. *albus*, il *Proteus vulgaris* o l'*Alcaligenes faecalis*, possono essere usati con successo nell'esperimento e possono essere acquistati presso molti laboratori biologici, oltre che presso una ditta americana specializzata in queste forniture, ossia la American Type Culture Collection, 2112 M. Street N.W., Washington 6, D.C.

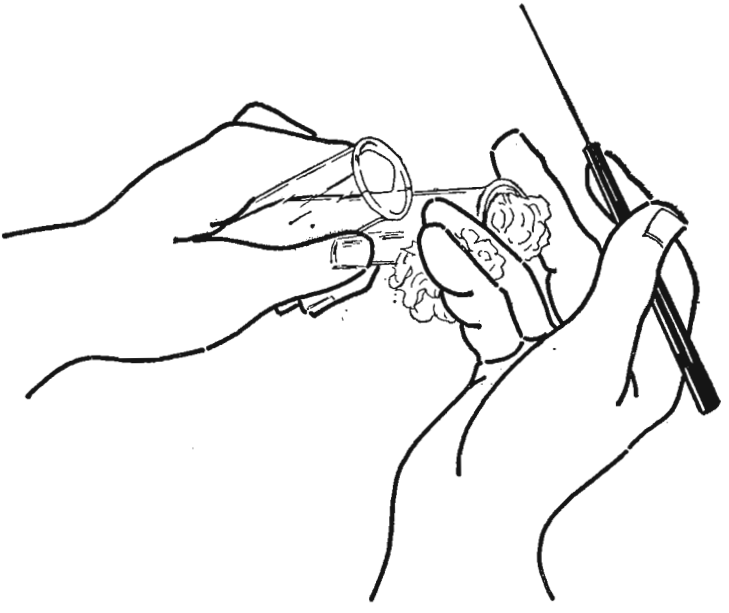
I dilettanti possono chiedersi della opportunità di acquistare dei batteri dal momento che è a tutti noto come vi sia una estrema abbondanza di essi nell'aria che viene respirata: ebbene è effettivamente possibile tentare una coltura di questo genere, avviandola con la semplice esposizione di un piccolo quantitativo del brodo di coltura all'aria esterna, su di una terrazza alquanto elevata, e quindi mantenendolo in incubazione per un periodo di circa 24 ore; ci sia però permesso di far notare come questa soluzione potrebbe essere incontrollabile e pericolosa, per il fatto che con tale sistema non è possibile selezionare i batteri che si raccolgono e che possono fissarsi sul brodo dando luogo alla formazione di colonie; il sistema può essere anche pericoloso, come dicevamo, in quanto può permettere il fissarsi di batteri patogeni, causa di malattie con gravi rischi non solo per lo sperimentatore ma anche per le persone che gli stanno intorno.

Sia detto per inciso, i brodi che siano già stati utilizzati, vanno immediatamente sterilizzati a caldo o con l'aggiunta di qualcosa delle più attive sostanze antisettiche e quindi vanno versati in qualche scarico. Le specie comunque che sono state consigliate sono innocue ed hanno il vantaggio ulteriore di essere di facile approvvigionamento. Data inoltre la costanza delle specie sarà anche possibile eseguire numerosi confronti su colture di essi sottoposte ai vari trattamenti. Inoltre, per le colture

acquistate, la spesa iniziale diviene ancora meno sensibile con il passare del tempo in quanto dai batteri di partenza possono ottenersi colonie per moltissimo tempo, data l'abilità di questi a riprodursi, mantenendole alla temperatura ambientale nel brodo di coltura, e rinnovando le colonie stesse a giorni alternati, prendendo una goccia del vecchio brodo e introducendolo in una provetta contenente del brodo di coltura ancora sterile. In più se la coltura può essere conservata ad una temperatura di 5 centigradi è interessante notare il rallentamento della crescita dei batteri al punto che il rinnovo delle colonie, sempre con il metodo descritto più sopra, può essere eseguito ogni settimana, invece che a giorni alterni.

Esperimento della batteriostasi

Per condurre l'esperimento della batteriostasi occorre, per prima cosa, introdurre nella camera asettica una provetta di brodo per coltura ancora sterile, un tubetto contenente la coltura sulla quale si intende esperimentare, nonché l'anellino di filo metallico. Prima di procedere, occorre anche curare una scrupolosa aspersione dell'interno della camera, con un liquido germicida, possibilmente a base di formalina, od alcool, e quindi lasciare depositarsi per 5 minuti, le particelle prodottesi con la nebulizzazione della sostanza stessa. Si accende quindi la lampada ad alcool e con essa si provvede a riscaldare, sino a portarlo al calore rosso, l'occhiellino di filo metallico, sin quasi alla sua impugnatura. Si tengono poi entrambe le provette (quella contenente il brodo con coltura e quella invece con il brodo ancora sterile) nella mano sinistra, dando loro una leggera inclinazione, e si tiene invece con la destra l'occhiello di metallo, nel modo illustrato nella fig. 43. Con le ultime tre dita della mano destra si tolgono poi i tappi di cotone da entrambe le provette e le imboccature di entrambe le provette si passano lentamente attraverso la fiamma della lampada. A questo punto si tuffa l'occhiello di metallo nel centro del brodo contenente la coltura già avviata, lo si mantiene in questa posizione per un secondo circa, dopo di che lo si estrae e lo si inserisce rapidamente nel tubetto contenente ancora il brodo sterile. Subito dopo si rimettono al



43. Come si tengono le provette quando si trasferiscono le colture batteriche in esse contenute, usando un occhiello di filo metallico.

loro posto i due tappi di cotone evitando di confonderli, si provvede di nuovo alla sterilizzazione dell'anello metallico inserendolo nella fiamma e lasciandovelo sino a quando non si sia arroventato.

Onde evitare che la coltura pura possa essere contaminata, lo sperimentatore dovrebbe eseguire dapprima qualche prova su provette vuote, prima di passare a quelle contenenti effettivamente la coltura.

Il tubo nel quale è stata appena disseminata la coltura viene lasciato in incubazione per circa due ore alla temperatura ambientale e quindi viene conservato in frigorifero alla temperatura ideale di 5 centigradi. Quando siano trascorse 24 ore si provvede a scuotere il tubetto stesso di fronte ad una sorgente luminosa, possibilmente intensa e concentrata: la presenza del sedimento messa in evidenza dall'agitazione del liquido, sarà un indice sufficiente che la coltura ha fatto presa in tale prepa-

razione: a questo punto la coltura primaria, acquistata, può essere sterilizzata con i soliti sistemi e quindi gettata via. Se, allo spirare delle 24 ore, il sedimento manca di fare la sua comparsa in fondo alla provetta, si può sospettare la mancata riuscita dell'impianto della coltura e non converrà certamente attendere un tempo ulteriore ma sarà assai meglio gettare via il brodo e ripetere il tentativo.

Gli antibiotici adatti per scopi diagnostici possono essere richiesti alla Carlo Erba oppure alla Difco Laboratories, Detroit 1, Michigan, nella forma messa in circolazione da questa ditta con il marchio di « Piastrine per la sensibilità batterica ». Ciascuno dei prodotti viene fornito in una fiala sterile con 50 piastrine per contenitore, ed in tre gradi di concentrazione, vale a dire, basso, medio ed alto. In questa forma sono disponibili i seguenti antibiotici che d'altra parte, sono anche quelli più facilmente utilizzabili in queste esperienze: aureomicina, bacitracina, cloromicetina, diidrostreptomicina, eritromicina, magnamicina, neomicina, penicillina, polimixina B, streptomicina, terramicina, tetracilina, e viomicina.

L'esperimento sulla batteriostasi consiste nell'esporre una serie di colture dei batteri in esame, a concentrazione via via crescente su supporti di brodo gelatinoso di coltura, all'azione delle sostanze antibiotiche. Una zona di inibizione, prodottasi attorno alle piastrine delle sostanze antibiotiche, e nella quale i batteri non riescano ad attecchire, può essere una indicazione sufficiente che i batteri stessi siano sensibili a quella sostanza antibiotica. Il grado di sensibilità di un organismo può poi essere valutando misurando le zone di inibizione applicando possibilmente la tabella della fig. 44.

SENSIBILITÀ	CONCENTRAZIONE		
	bassa	media	alta
molto sensib.	zona	zona	zona
sensibile	zona	s. zona	zona
poco sensib.	s. zona	s. zona	s. zona
resistente	s. zona	s. zona	s. zona

44. Semplice tavola in cui sono illustrate le sensibilità di un microorganismo ad una sostanza antibiotica, a concentrazione variabile.

Quando si conducono esperienze di questo genere può essere utile avere a disposizione un'altra serie di piastrine da usare come controllo allo scopo di rilevare un'eventuale contaminazione. L'esperimento si inizia disponendo nella camera antisettica i seguenti materiali: un litro di acqua di rubinetto, sterilizzata e demineralizzata mediante prolungata ebollizione, due gruppi di sei capsule di Petri, sterili, una dozzina di pipette sterilizzate da 1 millimetro, una pompetta di gomma sterilizzata, un bagno di acqua riscaldato mediante sottostante fornello elettrico a piastra, alla temperatura di 45 centigradi ed, in tale bagno, sei contenitori Erlenmeyer di misura ridotta, contenenti brodo di coltura con alghe, un porta provette con sei provette già inserite, un pastello di cera, per le annotazioni ed un recipiente aperto contenente del germicida.

Nell'interno della camera, si aprono i pacchetti contenenti il materiale di vetro, che era stato tenuto avvolto dal momento della sterilizzazione, quindi si tolgono i tappi di cotone dal tubetto contenente la coltura e da quello sterile, mentre si applica un piccolo batuffolo di cotone sterilizzato sull'imboccatura di ogni pipetta. In ciascuna delle sei provette si immettono quindi 9 millilitri di acqua sterilizzata. Le operazioni che sono elencate qui appresso debbono essere condotte con una certa attenzione ed è opportuno che su ognuno dei contenitori e delle provette sia tracciato un segno di riconoscimento allo scopo di distinguere facilmente ciascuno di essi. Si applica quindi la peretta ad una delle pipette e con essa si trasferisce in una delle provette, in cui già si trovano i 9 millilitri di acqua, un millilitro di coltura da esaminare. Mediante un codice facilmente comprensibile, si provvede poi a contrassegnare tale provetta con la indicazione 1:10 indicando cioè che essa contiene la coltura nella proporzione di una parte in dieci del volume totale. Tale tubetto viene quindi agitato per 30 secondi per assicurare la perfetta incorporazione della coltura nell'acqua. Si toglie quindi la peretta dalla pipetta usata per trasferire la coltura e si getta questa ultima nella coppa aperta contenente il liquido germicida. Si sceglie quindi un'altra pipetta sterile e con questa si trasferisce un millilitro della miscela contenuta nella provetta 1:10, in un'altra provetta già contenente, come le altre, l'acqua ed in tale modo si sarà preparata una coltura con concentrazione

di un decimo di quella precedente per cui si potrà contrassegnare questa seconda provetta con la sigla 1:100. Si agita anche questa volta e quindi con una nuova pipetta, si trasferisce un millilitro da questa alla successiva provetta contenente i 9 millilitri di acqua, contrassegnando questa con 1:1000; si mescola ancora e si ripete l'operazione per altre tre volte agitando e sostituendo ogni volta la pipetta, e preparando così le concentrazioni minori, vale a dire la 1:10.000, la 1:100.000, la 1:1.000.000.

Un campione di brodo di alghe fuse si versa poi da ciascuno dei contenitori Erlenmeyer in ciascuna delle capsule Petri, e si contrassegna ognuna di queste in modo da potere riconoscere da quale contenitore Erlenmeyer sia stato tratto il campione che contiene. Su ciascuna delle capsule si appone poi il rispettivo coperchio e si lascia trascorrere un certo tempo in modo che i campioni di gelatina fusi possano raffreddarsi e divenire alquanto solidi. Una volta che da ciascun Erlenmeyer sia stato tratto il campione rispettivo, si provvede a disseminare tutti i contenitori con le colture a concentrazione decrescente che erano state preparate poco prima. In particolare conviene sempre fare uso di quantitativi di un millilitro, gettando nella bacinella di germicida le pipette appena usate; alla fine di queste operazioni i sei contenitori saranno stati disseminati rispettivamente, con la coltura da 1:10, da 1:100, da 1.1000; da 1:10.000, da 1:000.000 e da 1:1.000.000 di concentrazione. Tutte le soluzioni acquose rimaste nelle provette titolate sono quindi sterilizzate e gettate via.

Le vaschette di controllo sono poi sottoposte ad incubazione per due giorni ad una temperatura di 27 centigradi. È interessante sapere che la stessa camera antisettica citata in questi esperimenti può essere utilizzata appunto nella funzione di incubatore per le culture, installando nel suo interno, su di un portalampade in porcellana, una lampada da 100 watt, la cui accensione viene poi comandata automaticamente, in funzione delle necessità, per mezzo di un termostato a lamina bimetallica, di quelli cioè che sono comunemente impiegati negli acquari per pesci tropicali.

Si introducono quindi nella camera antisettica dodici altre capsule di Petri, le piastrine indicatrici per la sensibilità bat-

terica ed un paio di pinzette a forbice. Prima di continuare nelle esperienze occorre però sottoporre l'interno della camera stessa ad una ulteriore sterilizzazione mediante spruzzatura di liquido germicida: due capsule Petri si riempiono, poi, con piccoli quantitativi prelevati da uno dei contenitori e lo stesso si fa con il contenuto degli altri recipienti, con il quale si riempiono via via delle coppie di capsule, applicando su queste qualche segno di riconoscimento che faciliti le operazioni della individuazione della provenienza di ciascuno dei campioni. Si lascia trascorrere qualche tempo, perché la gelatina di coltura possa solidificarsi; poi si passa la pinzetta a forcipe sulla fiamma per sterilizzarla ed una volta che essa si sia raffreddata, la si usa per depositare al centro della gelatina le piastrine contenenti l'antibiotico del quale interessa accertare la sensibilità da parte dei batteri. In particolare, in una delle vaschette di ogni coppia, si dispone la piastrina a bassa forza, mentre nell'altra si applica la piastrina a forza maggiore; da notare però che se le pistrine sono disponibili in tre gradazioni di forza, occorrerà preparare per ogni concentrazione di coltura, non due ma tre capsule di campione. Un sistema abbastanza conveniente per avere continuamente l'indicazione della posizione delle varie piastrine di antibiotico è quello di tracciare al disotto di ciascuna delle capsule un segno circolare con la matita grassa e fare in modo, al momento delle applicazioni delle piastrine, che ciascuna di esse risulti centrata rispetto a questo segno. Ove poi interessi esaminare l'effetto di piastrine di vari antibiotici disposti nelle stesse vaschette conviene tracciare al disotto di ciascuna di esse un raggio od una spirale su cui le piastrine si dispongono a partire dall'aureomicina e disponendo poi le piastrine in una spirale verso la periferia delle vaschette, sistemandole nella successione dell'ordine alfabetico del loro stesso nome, facendo magari in modo che l'andamento della spirale sia quello orario.

Conviene, in ogni caso, evitare qualsiasi affollamento ed eccessivo accostamento tra le varie piastrine in una stessa capsula. Poi, al disopra di ciascuna di queste si applica il rispettivo coperchio e si rimette in funzione la lampada nell'interno della camera in modo che questa possa operare come incubatore, per un altro periodo di due giorni, alla temperatura di 27 Celsius. L'azione delle varie sostanze antibiotiche esaminate in funzione

delle concentrazioni di queste e nelle varie concentrazioni di batteri, viene poi valutata, osservando la continuazione della crescita dei microorganismi nelle singole capsule ed apprezzando le dimensioni degli anelli circostanti a ciascuna delle piastrine, sui quali la crescita e lo sviluppo delle colonie di batteri sia stata inibita. I risultati possono anche essere schedati adottando magari un segno « — » per indicare l'assenza di sviluppo della colonia stessa, ed un segno « + » ad indicare l'effettiva inibizione alla vita.

La presenza o l'assenza di una zona di inibizione e non il diametro o l'area della zona stessa, sta ad indicare la sensibilità da parte delle colture all'effetto degli antibiotici. Ove nelle capsule di controllo che erano state lasciate volutamente sterili, si verifichi lo sviluppo di una qualche colonia, è giuocoforza sospettare l'intervento di una contaminazione e questo segno deve bastare ad invalidare l'intero esperimento. Le capsule di prova debbono essere esaminate dopo altri quattro giorni di incubazione dopo di che debbono essere sterilizzate e quindi eliminate con un trattamento antibatterico, spinto all'estremo.

Schedatura degli effetti delle sostanze antibiotiche

Un'interessante variazione della prova descritta allo sperimentatore è tracciare una vera e propria cartella o scheda dell'effetto delle sostanze antibiotiche in funzione anche del tempo. Lo sperimentatore può così studiare, uno per uno, i periodi di tempo che seguono l'applicazione di ogni antibiotico, in funzione dell'azione di questo ultimo ed in funzione della successiva diminuzione del suo effetto. Ciò comporta la costruzione di un semplice fotometro capace comunque di fornire indicazione delle quantità relative di luce, fatte passare attraverso una provetta in funzione della capacità di intercettare la luce stessa, che presenta la sostanza contenuta nella provetta stessa. Si dà infatti il caso che lo sviluppo di colonie batteriche nel brodo di carne usato per le colture, tende ad aumentare la torbidità di questo e quindi a ridurre la sua trasparenza. Quando un campione di brodo di colture viene introdotto nella provetta è possibile valutarne facilmente la sua torbidità e quindi il suo

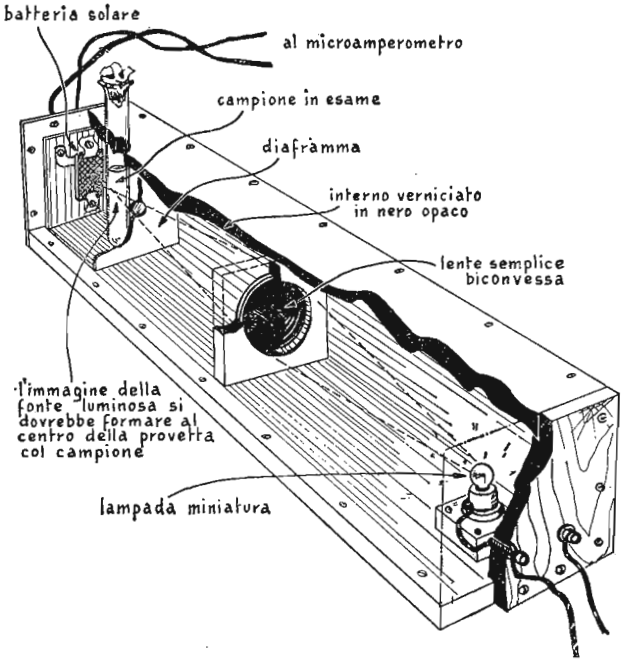
contenuto in fatto di colonie batteriche ed a questa valutazione viene appunto in aiuto il fotometro citato più sopra.

Il dispositivo consiste di una lampada e di una lente che serve a focalizzare un raggio di luce nella direzione diametrale della provetta; dalla parte opposta della provetta viene poi sistemata una fotocellula che riceve, in sostanza, quella porzione della luce inviata alla provetta dalla lampada e che riesce ad attraversare la provetta stessa, vincendo l'opacità che può esservici prodotta. Un microamperometro viene collegato in serie alla fotocellula, allo scopo di fornire una indicazione esatta, perché quantitativa, delle condizioni di illuminazione nelle quali la fotocellula si è trovata. La lampada, la lente, la provetta e la fotocellula sono sistemate in uno speciale cofano a tenuta di luce, visibile nel suo interno nella fig. 45.

Questa volta, pertanto, le prove della presenza e della valutazione delle colonie batteriche vengono condotte nelle provette invece che sulla gelatina di coltura come nel caso precedente. Una tavoletta di antibiotico viene dunque dissolta in 10 millimetri di acqua distillata od almeno sterilizzata, operando sempre nella camera antisettica. La diluzione di questa soluzione viene effettuata come nel caso precedente in modo da avere a disposizione sei provette con altrettante concentrazioni che vanno da quella ad 1:10 a quella di 1:1.000.000; occorre solamente considerare che, questa volta, sono le sostanze antibiotiche e non le colture batteriche che si preparano nelle varie concentrazioni. Una volta che si abbia a disposizione la serie di sei concentrazioni, si provvede a versare in ciascuna delle provette, che già in precedenza contengono quattro millimetri di brodo di coltura, un millimetro di una delle soluzioni.

Nelle provette si disseminano poi, con l'occhiello di metallo, i batteri prelevati da una coltura dell'età di due giorni in brodo di carne, fatta incubare ad una temperatura di 27 gradi. Ad intervalli costanti durante la incubazione, ossia ad esempio ogni tre ore, i tubetti vengono agitati con una certa delicatezza e subito dopo si esamina la presenza della torbidità nel liquido in essi contenuto, operando con l'aiuto del fotometro.

È possibile quindi tracciare una sorta di diagramma della variazione della torbidità in fuzione del trascorrere del tempo ed, al termine dei rilevamenti, si avrà appunto a disposizione



45. Fotometro autocostruito per la misurazione dell'opacità e quindi la densità di una coltura batterica.

una curva indicante l'attività batteriostatica di ciascuna delle concentrazioni di antibiotico. Occorre raccomandare però che, prima di avviare le ricerche effettive, tutte le provette già contenenti il brodo di coltura, ma prima dell'immissione dei batteri da coltivare, siano esaminate attraverso il fotometro, per stabilire quali siano le loro condizioni di trasparenza al punto di partenza.

Vi sono attualmente in circolazione dei fotometri professionali che vengono usati in queste prove e sono di solito calibrati secondo la legge di Beer, per la quale, per soluzioni di una data sostanza in un dato solvente, la luce che le attraversa subisce un assorbimento che è proporzionale allo spessore dello strato attraversato dal suo raggio.

Anche il nostro strumento dovrà pertanto essere calibrato

possibilmente con il metodo del confronto con un apparecchio fotometrico già tarato. I grafici anche tracciati con uno strumento tarato in modo arbitrario, forniranno precise indicazioni sull'effetto batteriostatico, sebbene le curve in questione non sempre coincideranno con quelle che potrebbero essere tracciate con uno strumento professionale.

Le prove di questo genere, fondate su delle misurazioni fotometriche, possono avere notevole importanza pratica, in quanto permettono di accertare prontamente quali antibiotici possano essere usati caso per caso con maggiore efficienza, su batteri dei quali non siano stati raccolti in precedenza elementi o notizie. Le stesse prove fotometriche permetteranno di controllare rapidamente e senza l'aiuto di microscopio, almeno nelle prime fasi, come una determinata specie di batteri possa subire delle mutazioni sino a divenire resistente all'azione di un determinato antibiotico che magari in partenza aveva su di essa conseguenze letali.

Isolamento di colonie insolite e sviluppo di nuovi ceppi batterici

Nel corso degli esperimenti in cui sono impiegate colture su supporti di gelatina di alghe, può capitare a volte di notare la comparsa ed addirittura il prosperare di una piccola colonia batterica proprio nell'interno dell'anello di inibizione che invece non viene oltrepassato dalle colonie normali.

Può benissimo darsi che tale colonia sia prodotta da una contaminazione verificatasi incidentalmente sulla coltura. È però sempre possibile che si tratti in effetti di un organismo in corso di mutazione, o di un nuovo ceppo batterico formatosi per selezione naturale, laddove sta soccombendo il ceppo convenzionale perché sensibile all'effetto dell'antibiotico.

Tutte queste colonie insolite possono essere isolate e ulteriormente coltivate; per eseguire su di esse delle ricerche si tratta di prelevare con la punta di un ago da dissezione una porzione della colonia dalla vaschetta dove questa si è manifestata, e quindi trasferirla in un nuovo supporto di coltura sterile, dove viene lasciata in incubazione. In questo modo delle prove possono essere condotte per accertare se la colonia in esame sia

effettivamente una specie di mutazione od invece se derivi da una contaminazione della coltura da agenti estranei.

Recentemente si è risaputo che le radiazioni subatomiche tendono spesso ad aumentare la tendenza alle mutazioni in tutti gli organismi; è così possibile ad esempio, determinare la formazione di nuovi ceppi batterici esponendo delle colture convenzionali alle radiazioni X. In una delle ultime parti di questo volume verrà appunto descritta la realizzazione di un apparecchio autocostruibile e progettato da Harry Simons, in grado di produrre raggi X di potenza sufficiente da indurre i microrganismi per lo meno ad iniziare queste mutazioni. Lo sperimentatore viene pregato comunque sin d'ora di porre la massima attenzione per evitare di venire egli stesso colpito dalle radiazioni o che queste possano raggiungere altre persone od animali situati nelle vicinanze. In ogni caso, la coltura da trattare deve essere presentata dinanzi al tubo generatore di raggi X e la macchina deve venire messa in funzione preferibilmente per mezzo di telecomandi dall'operatore, dopo che questi si sia messo dietro la protezione di uno schermo adeguato, come viene suggerito dallo stesso Simons.

2

COME SI ALLEVANO LE ALGHE

Da una casuale gita nei boschi ebbe origine, in I. C. G. Cooper, l'interesse per la coltivazione delle alghe. Nel presente capitolo vi sono le istruzioni per isolare, identificare ed allevare le microscopiche piante che potrebbero forse un giorno divenire un'importante fonte di nutrimento per gli abitanti del mondo sovraffollato e quindi sempre più alle prese con i problemi della sussistenza.

Un pomeriggio, molti anni addietro, avevo iniziato una piacevole passeggiata nei boschi delle vicinanze; era con me William T. Davis, naturalista dilettante ed uno dei fondatori dell'Istituto delle Scienze e delle Arti, di Staten Island. Egli si era prestato ad insegnarmi a riconoscere alcuni dei locali fiori selvatici. Il suo entusiasmo era contagioso e prima del pomeriggio esso aveva raggiunto anche me in forma molto intensa.

Durante alcuni mesi successivi, io stesso raccolsi e conservai molti fiori ed erbe. Non mi occorse molto tempo per comprendere che ero alquanto in ritardo per attuare in questo senso delle vere e proprie scoperte: per lo meno, infatti, le specie dei campioni che andavo raccogliendo erano ampiamente rappresentate anche negli armadi e negli erbari dell'istituto; pertanto mi apparve senza scopo il continuare a ripetere il lavoro che era stato già eseguito. Così, una sera, al termine di un'altra passeggiata nella campagna, cercai una scorciatoia per tornare a casa e passai dalla vicina spiaggia, dove notai uno strano ammasso di erba di mare che ondeggiava in avanti ed indietro tra le onde della bassa marea. Dopo avere raccolto l'esemplare mi venne un'idea: quella di dedicare un poco di tempo all'esecuzione di studi sulla flora marina della zona.

Per quanto i primi campioni raccolti apparissero delle sem-

plici alghe di scoglio, ad essi ho dedicato un posto speciale nella collezione, in quanto, proprio essi, mi hanno presentato le tallofite, ossia la grande sezione del regno vegetale occupato dalle alghe.

Non occorre una preparazione di scienziato per avere modo di fare delle interessanti osservazioni sulle alghe e specie su quelle di dimensioni maggiori. Per raccoglierle nelle migliori condizioni e senza affatto danneggiarle, conviene scegliere quelle di esse che stanno galleggiando, inserire in acqua, al disotto di esse, un foglio di carta abbastanza robusto anche se alquanto poroso, sollevando poi questo gradualmente, con movimento verticale, in modo da far sì che l'alga prescelta od il frammento si depositi su di essa. Più tardi, l'alga sulla carta viene portata ad essiccazione e, senza più spostarla, viene fissata sulla carta stessa mediante un'applicazione di lacca fissativa per pittori, del tipo spray.

Dato che le alghe hanno un contenuto estremamente elevato di acqua, allorché si essiccano, come nel nostro caso, si riducono ad uno spessore praticamente nullo, ed anche il colore di esse subisce delle profonde variazioni; in effetti, essa si deposita sulla carta come uno strato poco dissimile da quello lasciato dall'inchiostro, al punto che sono divenute materia prima per alcuni pittori astratti che, con esse, eseguono delle composizioni od altri lavori.

Tutto andò bene per un paio di anni, durante i quali la mia raccolta giunse ad un livello molto alto, come assortimento; poi cominciarono a sorgere delle difficoltà, specialmente quando cominciai ad orientarmi verso alghe di dimensioni sempre minori: il numero delle specie andava aumentando inversamente alle loro dimensioni. L'identificazione di ciascuna di esse diveniva difficoltosa. Gli stessi testi di consultazione su tale argomento, i quali descrivono con dovizia di particolari gli esemplari maggiori e le specie giganti e giungono anzi a fornire illustrazioni colorate di queste, divengono invece schematici ed aridi quando passano a specie che debbano essere osservate almeno con l'aiuto di una lente di ingrandimento.

Senza sapere che ciò avrebbe resa ancora peggiore la situazione, acquistai un microscopio. La prima occhiata attraverso tale strumento, per poco non fece cadere tutto il mio entusia-

smo per questo hobby. Non vi era alcunché di distinguibile: non potevo nemmeno riconoscere delle piante dagli animali, figurarsi se sarei riuscito ad identificare ed a classificare le piante presenti, ossia appunto le alghe.

Una sola goccia di liquido raschiato della superficie degli scogli, si rivelava carica di numerosi microorganismi, tra cui piccoli animali che vivevano statici, raggruppati in strutture ramificate, tali da far pensare piuttosto a delle piante, e piccole piante che si muovevano rapidamente nel liquido, agitando le estremità, e si nutrivano proprio come animali; a questo punto debbo anche fare un cenno riverente alla pazienza dei curatori e dei preparatori del Museo ed a quella dei membri dell'associazione a cui io stesso ero affiliato, ossia la Società Microscopistica di New York. Essi mi dedicarono parte del loro tempo ed alfine riuscirono ad insegnarmi a riconoscere un cloroplasto, al solo vederlo, ed anche a riconoscere le pareti di cellulosa che aiutano molto nella distinzione tra le grandi sezioni della biologia.

L'apprendimento a riconoscere gli animali dalle piante era comunque solo un punto di partenza. Ogni goccia di liquido, all'apparenza identica a tutte le altre, presenta invece, sotto l'obbiettivo di un microscopio, una popolazione unica, che pare non potersi riscontrare in nessun'altra; ogni volta che stavo conducendo le mie osservazioni e che avevo concluso il censimento, con quasi assoluta certezza, il poco liquido contenuto nella goccia in esame evaporava ed i piccoli viventi ne risultavano distrutti. Come sarebbe dunque stato possibile introdurre una sorta di ordine in una confusione come questa e, soprattutto, da dove avrei potuto cominciare ad attuare l'ordine stesso?

I curatori del museo mi informarono che sarebbe stata una buona idea quella di cominciare con il restringere il campo di osservazione. La zona nella quale io risiedevo non è davvero molto ampia, ma, dal punto di vista della sua popolazione in fatto di microorganismi marini, le sue dimensioni apparivano moltiplicarsi; nel tentativo di avviarmi nella collezione delle alghe, alla ricerca di tutte le specie disponibili, avevo disperso le mie ricerche su di una zona troppo vasta. Dopo pertanto avere speso molti anni alla ricerca di campioni del grandissimo numero delle varietà delle alghe acquatiche, convenni che avrei

fatto assai meglio nel limitare le ricerche alle assai meno numerose alghe del terreno.

Come norma, le alghe non sono difficili a trovarsi nel terreno, una volta acquisita un minimo di esperienza nel manipolare le colture e nell'uso del microscopio. Il tentativo di selezionare le varie specie singole e di indagare nella loro struttura e nel loro comportamento può però esser causa di perplessità, in una grande gamma di alternative e di complicazioni. Per fortuna, gli psicologhi ed i batteriologi sono da tempo riusciti a risolvere l'arduo problema del metodo e non è affatto difficoltoso adattare le loro tecniche anche agli studi ed alle ricerche dilettantistiche.

Nelle ricerche, io stesso applico il metodo di coltura cosiddetto dell'acqua di terra, presentato da E. G. Pringsheim della Università di Cambridge. In effetti, le alghe sono fatte crescere in uno stagno in miniatura, vale a dire un recipiente di vetro pieno di soluzione nutritiva con al fondo uno strato di fanghiglia (fig. 46). Tale stagno viene preparato riempiendo parzialmente un recipiente di vetro ad imboccatura larga, quale un barattolo da maionese o di altro alimentare, ben pulito, con soluzione nutritiva, aggiungendo a questo una cucchiaiata di fanghiglia e quindi, ponendo tutto l'insieme a sterilizzare in un autoclave od anche in una pentola per cotture sotto pressione.

Su questo ambiente viene quindi disseminato il campione di terreno che si vuole esaminare: ne basta un quantitativo minimo, come quello accolto sulla punta di un coltello, ed il complesso viene conservato di preferenza alla temperatura ambientale ed esposto alla luce durante il periodo di incubazione; il davanzale di una finestra con esposizione a Nord può rappresentare una buona sistemazione dell'ambiente di coltura.

Una volta che l'incubazione sia stata conclusa, quando cioè il caratteristico velo verde si presenta in quantità notevole, si preleva una minima traccia della coltura stessa, e la si applica su di un brodo di coltura immobilizzato con alghe agar, dove esso continua a svilupparsi, incoraggiato anzi, in questo, dalle migliorate condizioni ambientali e dalla disponibilità di un'assai maggiore quantità di nutrimento.

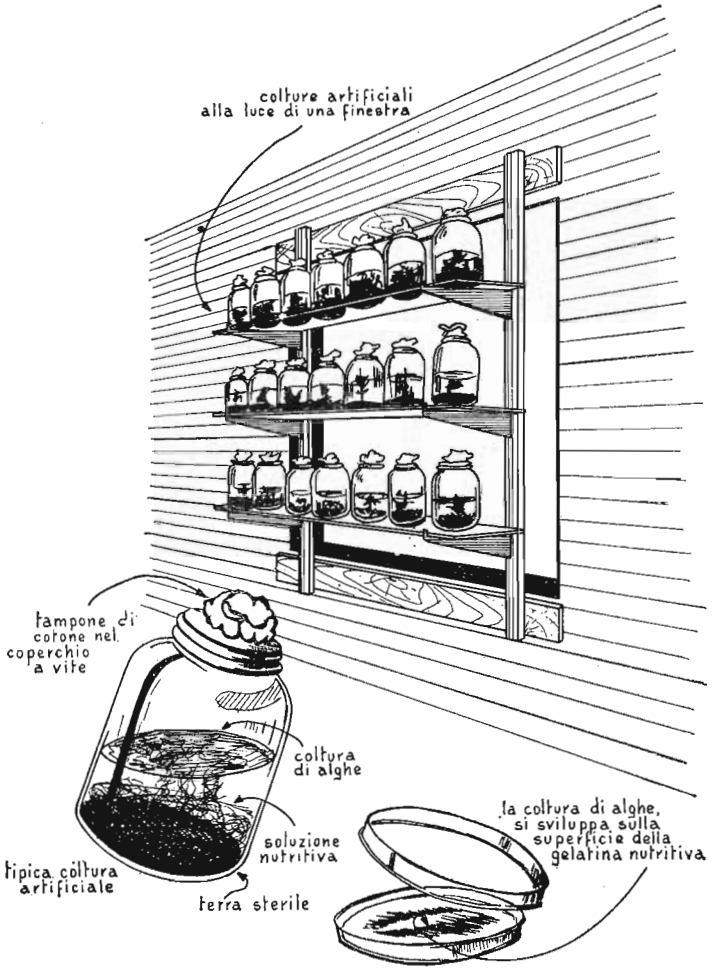
Se il prelevamento del campione e quindi l'applicazione di questo, nel nuovo supporto di coltura, saranno stati eseguiti con

esattezza, colonie separate dei diversi organismi presenti non tarderanno ad apparire sulla superficie della gelatina; essendo così differenziate non sarà quindi affatto difficile prelevare, con un ago sterile di vetro od anche con una micropipetta, le colonie singolarmente e trasferirle in un nuovo recipiente del tipo descritto in precedenza, vale a dire in un barattolo con soluzione nutritiva contenente al fondo tracce di fango, sterilizzato all'autoclave.

Anche in queste condizioni comunque, quella che appariva come una colonia semplice, formata da organismi identici, non mancherà di dimostrare come, in effetti, sia a sua volta una raccolta di esemplari di diverse specie, quantunque assai meno affollata e meno dominata dalla confusione. Potrà essere necessario ripetere le operazioni descritte sino ad ora dando tempo per la incubazione, e quindi prelevando le colonie per trasferirle in colture nuove sino a quando, la specie che interessa, non si presenterà pressoché isolata. Data la grande difficoltà di giungere a questo risultato comunque, si è spesso tentati di domandarsi se sia effettivamente possibile o meno giungere all'ottenimento di una colonia veramente pura di una qualsiasi specie.

Le alghe monocellulari sono avvolte della stessa sostanza a base di pectina, che rende così belli gli esemplari delle alghe giganti, fatti seccare sui supporti di carta come prescritto più sopra. Questo strato o guaina che li avvolge riesce, di solito, a salvare la vita di questi organismi; basta provare ad esempio ad uccidere i batteri che si possono trovare in mezzo alle alghe, e che potrebbero essere patogeni, senza tuttavia danneggiare in alcun modo le alghe stesse. L'irradiazione delle colture con raggi X od anche con semplici raggi ultravioletti, della gamma germicida di 2537 Angstroms, purché sia condotta con dosature scrupolosamente controllate, tende ad eliminare i batteri presenti senza influenzare invece tutte le alghe. Ad ogni modo anche se si riesce nell'obbiettivo di eliminare i batteri, senza danneggiare le piante, sarà sempre un problema quello di separare le alghe da una coltura, per trasferirle e disseminarle in un'altra, senza rischiare di indurre in queste qualche altra contaminazione.

La tecnica del laghetto artificiale spiegata più sopra, lascia



46. Disposizione adottata da Cooper per la coltivazione di alghe prelevate dal terreno.

comunque sempre un certo numero di incognite di carattere chimico. Spero che l'impiego di uno spettroscopio nell'analisi di residui delle varie colture aiuterà me e gli altri ricercatori di questo ramo nell'eliminazione dei problemi stessi. La coltura

preleva parte del suo nutrimento dagli elementi che vengono aggiunti alle soluzioni dei barattoli, mentre preleva quanto altro le occorre addirittura dalla fanghiglia e dalla terra sterilizzata che si trova al fondo dei recipienti. La prima fonte può essere controllata con facilità mediante l'aggiunta e l'eliminazione dalle composizioni dei vari elementi che interessano o meno. Se potessimo dunque coltivare le alghe applicando esclusivamente soluzioni con composizione analoga a quella per le colture idroponiche, molte delle difficoltà e delle incertezze inevitabili per la presenza della fanghiglia e del terriccio si sarebbero potute superare. Ma questo ripiego, comporterebbe la necessità di una profonda conoscenza delle esigenze degli organismi in esame in fatto di nutrimenti, prima ancora di avviare una coltura con i microrganismi stessi.

Per questo si è addivenuti alla soluzione intermedia, quale quella di introdurre nella soluzione nutritiva gli elementi principali: azoto, potassio, magnesio e tutte le altre sostanze abituali per tutte le piante, affidando invece alla porzione di fanghiglia o di terriccio, la funzione di fornire gli elementi minori (i cosiddetti microelementi), richiesti da molte piante, oltre a costituire anche la fonte pur limitata di altri fattori, sconosciuti, quali ad esempio le vitamine, ecc.

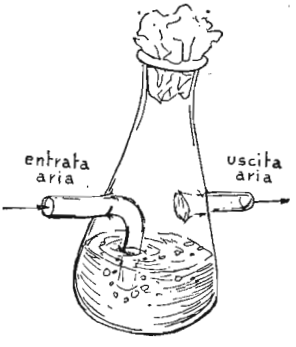
La fanghiglia serve anche come serbatoio di raccolta e di punto di riduzione e di sintesi, necessario per mantenere i metalli pesanti in soluzione. Incidentalmente, è comunque da sottolineare come l'adatto terreno per la coltura, deve essere scelto con una serie di prove; ad ogni modo, una volta trovata la qualità più adatta, conviene controllare più volte l'effettiva attitudine in questo impiego, quindi raccogliere un notevole quantitativo della sostanza, sterilizzarla a fondo e conservarla in recipienti sterili, mantenuti chiusi in vista di una sua utilizzazione anche remota.

Gli amici mi chiedono a volte cosa io faccia con un'alga, una volta che sia riuscito ad isolarne la specie nella cultura e sia riuscito quindi ad includerla nella mia collezione: in un certo modo, questo è qualche cosa di simile del chiedere ad un filatelico, cosa abbia intenzione di fare con i suoi francobolli: se egli è un vero filatelico, si limita a conservare con cura la sua raccolta ed eventualmente ad arricchirla sempre con

nuovi campioni cercando, magari, di trasmettere ad altre persone questa sua passione per la raccolta stessa. Da aggiungere anche che la ricerca per la conservazione delle alghe vive, senza contaminazioni né mutazioni, è un'impresa di difficoltà e di interesse comparabile a quelli presentati da ricerche analoghe sugli altri vegetali.

Se si somministrano alle alghe acqua, luce e nutrimento, e si mantiene la temperatura dell'ambiente al valore da esse preferito, queste prosperano nelle migliori condizioni di salute. In più esse tendono a sfidare il ricercatore a scoprire come reagiscono a piccolissime variazioni degli alimenti loro somministrati, oppure nell'osservazione di come, quando e con quale meccanismo esse si riproducano, oppure di quali sostanze si libera il loro organismo nel corso dei processi metabolici che avvengono in esse, oppure ancora di innumerevoli altri segreti dei loro processi vitali. Accettando questa sfida, il ricercatore può approfondirsi molto nelle conoscenze di queste forme di vita.

Coloro che conoscono qualcosa sulle colture idroponiche sono certamente tentati di indagare sulle possibilità delle soluzioni nutritive in questione anche nel caso delle colture di alghe: io stesso, ho anzi raccolto qualche successo in lavori come questo. Una serie degli esperimenti che condussi si concluse con la determinazione della composizione di una soluzione che mi sembrava assai più idonea per queste colture di tutte quante erano state citate in tale senso nei trattati sull'argomento. Nel corso di queste ricerche è anche possibile avviare addirittura un nuovo supporto per la coltura adatto a facilitare le ricerche differen-



47. Recipiente di aereazione per una coltura di alghe.

ziate, usando un recipiente poco profondo e rettangolare, nel quale sia introdotto un analogo rettangolo di rete metallica inossidabile in modo che nelle serie successive di cellule della rete sia accolta la soluzione nutritiva, via via più concentrata; un'altra soluzione ancora a questo problema è quella di usare una coltura composta da una serie di cellule, quale è quella che si può ottenere in qualsiasi contenitore di plastica per frigorifero, atto alla produzione di cubetti di ghiaccio. Di questo articolo è possibile scegliere anche negli empori il tipo in grado di produrre il numero maggiore di cubetti, che risulteranno quindi di dimensioni più piccole. In ognuno dei casi, l'intera serie di cellule ambientali viene disseminata di colonie nella stessa misura e viene quindi tenuta sotto osservazione.

Conviene poi stendere un'annotazione dettagliata delle reazioni della coltura in ciascuna sezione. L'esperimento può essere continuato, variando anche la concentrazione di due elementi in ciascuna fila di cellule, successivamente la variazione mutua della concentrazione su tre elementi e così via. L'analisi successiva delle annotazioni accumulate permetterà di intuire quale possa essere la concentrazione ideale di ciascuno degli elementi intervenuti nella soluzione nutritiva, per le specie biologiche che si hanno in osservazione. Tra l'altro, una coltura che sia sottoposta a questo genere di studi diviene uno strumento di grandi possibilità e precisione per l'indagine su soluzioni nutritive non conosciute. Le reazioni dell'alga in esame, quando qualche esemplare di essa viene immerso nella soluzione nutritiva sconosciuta, provvedono una indicazione degli ingredienti presenti in questa ed anzi, in taluni casi, aiutano almeno nella valutazione quantitativa della concentrazione di ciascuno di essi.

Una volta che una coltura sia stata standardizzata, ossia, portata ad un ragionevole stato di purezza e di assenza di organismi estranei, anche se simili, ed una volta che essa sia stata fornita del suo nutrimento preferito, non manca di suggerire una serie illimitata di altri esperimenti e ricerche. Se, ad esempio, l'alga in esame, si riproduce sessualmente, può essere interessante qualche ricerca, intesa a determinare la fecondazione di un esemplare, da parte di un individuo appartenente ad una specie alquanto diversa, così da creare degli ibridi; anche in queste occasioni, può sempre risultare interessante la variazione della

dieta delle alghe ed osservare i risultati di tali variate condizioni.

Una forte concentrazione di azoto può, ad esempio, sollecitare la « chlorella » ossia un'alga che potrà divenire commercialmente importante per alcuni aspetti interessanti del suo valore nutritivo, ad aumentare la sua produzione di proteine (da circa la metà del peso dell'intero microrganismo a quasi il 90% del peso stesso). Ciò che è ulteriormente interessante è poi il fatto che lo stesso organismo, in condizioni di carenza di azoto tenda invece ad accentuare la produzione di sostanze grasse (da poco meno del 10%, che si ha nelle condizioni medie, a più del 70%): sono ovvie d'altra parte le prospettive delle applicazioni industriali e commerciali di queste possibilità.

È facile vedere come questa sorta di ginnastica nei processi metabolici dei microrganismi possa essere interessante anche per i dilettanti. L'apprendere ad osservare ed a valutare queste variazioni, il dissezionare le alghe per valutare le sostanze nella distribuzione nell'interno di esse, e per valutare quali siano i prodotti cosiddetti di scarto da esse espulsi, potrà aprire a qualsiasi dilettante biologo, veramente appassionato, un notevole numero di campi di speculazione scientifica, a cui dedicare parte del tempo libero e delle proprie energie.

3

ESPERIENZE DI PSICOLOGIA SU DI UN RATTO DA LABORATORIO

L'abilità di talune sostanze chimiche a determinare uno stato di distensione e di relativa tranquillità negli animali precedentemente messi in condizione di ansia ed apprensione, può essere dimostrata con l'aiuto di qualche ratto da laboratorio, in un ingegnoso esperimento ideato da Sara E. Southwick, una studentessa universitaria di Midland, nel Michigan. Ella spiega come costruire ed usare un semplice apparato e fornisce anche il metodo per stabilire i necessari controlli sperimentali. Viene anche descritto un metodo per valutare gli effetti dannosi delle sostanze in esame.

Durante l'ultimo anno dei miei studi superiori, allo scopo di presentare qualche cosa di mio all'annuale rassegna di progetti e di realizzazioni scientifiche che si teneva nel mio collegio, allestii un esperimento controllato, inteso a valutare l'effetto, su animali da laboratorio quali i ratti, della « Cloropromazina », una delle moderne sostanze tranquillanti.

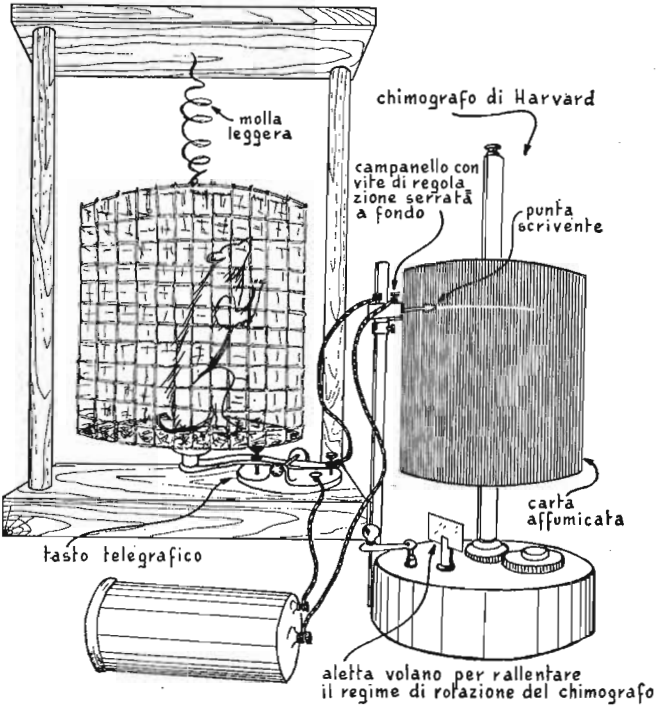
I tranquillanti erano la novità di quell'epoca ed anzi di essi si dicevano molte cose favorevoli e molte altre contrarie, in particolare in vista di un loro impiego nel trattamento di alcune malattie mentali; per questo essi avevano fissato il mio interesse. Secondo quanto veniva detto nelle relazioni mediche, gli effetti secondari e quelli laterali dei tranquillanti non erano stati del tutto catalogati, per cui mi parve che uno studio su questo speciale argomento, oltre che rendere un piccolo servigio alla scienza, avrebbe certamente rappresentato una novità nella rassegna scientifica alla quale mi ero proposta di partecipare.

La cloropromazina, ha la proprietà di determinare uno stato di quiete nei sofferenti di disturbi nervosi in condizioni anormali di sovreccitazione, inquietudine e tensione. Mi chiesi dunque se tale prodotto avrebbe avuto simili effetti deprimenti su animali normali ed in caso positivo, come avrebbe potuto agire su di essi direttamente ed indirettamente su altri aspetti del loro comportamento.

Come soggetti per l'esecuzione dell'esperimento mi ero procurati sei topi bianchi, maschi, tutti provenienti da una stessa nidiata. Durante la prima fase della sperimentazione, tre degli animali, vennero scelti a caso per sottoporli ai trattamenti, mentre gli altri tre vennero lasciati da parte come riserva ed anche allo scopo di servire da controllo; provvidi anche all'identificazione di ciascuna delle bestiole facendo, in punto conveniente sulla loro epidermide, dei segni di riconoscimento. Verso la metà circa degli esperimenti, adottai anche un nuovo espediente: quello della sostituzione dei due gruppi di animali, tra di loro, in particolare, i tre esemplari che erano serviti per i trattamenti vennero messi a riposo ed utilizzati come controllo, mentre quelli che sino a quel momento erano appunto serviti da controllo, vennero utilizzati come soggetti per una ulteriore serie di trattamenti. Avevo definita « incrocio » questa fase di sostituzione che mi sarebbe servita come controprova dei risultati ottenuti nella prima fase delle prove.

A parte queste differenze, tutti gli animali vennero conservati nelle condizioni più simili che fosse possibile e ciascuno di essi, ricevette una razione standard di nutrimento e di bevande, secondo una programmazione fissa ed ad orari altrettanto costanti. La serie di esperimenti da me condotti, venne protratta per cinque mesi durante i quali richiese solo l'impiego di parte del mio tempo libero. Un accurato esame fisico venne da me condotto su ogni animale all'inizio degli esperimenti, sia allo scopo di accertare che tutti gli esemplari fossero in perfette condizioni di salute, come anche di raccogliere una sufficiente scorta di notizie da usare in seguito, a scopo statistico.

Gli effetti della sostanza tranquillante vennero osservati mediante la misurazione delle variazioni in attività, intelligenza, composizione sanguigna, ritmo cardiaco, temperatura corporea, peso, ritmo di respirazione, comportamento sessuale, metaboli-



48. Apparato composto di gabbia, tasto telegrafico e chimografo, per la misurazione dell'attività di un topo da laboratorio.

smo, organi interni e caratteristiche esteriori. Gli animali vennero trattati mediante somministrazioni di cloropromazina negli alimenti, inizialmente nella misura di 5 milligrammi della sostanza per chilogrammo di peso corporeo delle bestiole; dopo una settimana la dose venne aumentata sino a 15 milligrammi per chilo ed alquanto più tardi venne portata alla proporzione di 20 milligrammi.

La reazione alla sostanza era stata immediata. I tre animali cui era stata somministrata, divennero presto più tranquilli degli altri tre usati come controlli, i movimenti delle bestiole divennero più lenti e meglio determinati degli altri. Per misurare obbiettivamente il grado di agitazione degli animali (in quanto

avevo preferito fare a meno di valutazioni personali e quindi soggettive), progettai una speciale gabbia cilindrica, con la superficie laterale rappresentata da una rete metallica inossidabile di media resistenza e con maglie delle dimensioni di 5 o 6 millimetri, con le due superfici circolari, rappresentate invece da dischi di lastrina piuttosto pesante di alluminio.

Feci quindi in modo che questa gabbia venisse sospesa per mezzo di una molla cilindrica relativamente debole (tale che si distendesse a circa due o tre volte la sua lunghezza originaria di 25 millimetri) applicata con la sua estremità inferiore al punto centrale di una struttura di legno, le cui caratteristiche possono essere facilmente rilevate dal dettaglio a sinistra della fig. 48. In particolare, l'insieme si compone di una basetta quadrata di 175 millimetri di lato dello spessore di 30 millimetri, da cui, partendo da due angoli diagonalmente opposti, si elevano due pezzi di tondino di legno, inseriti in fori ciechi e che all'estremità superiore sono accolti in fori analoghi, ed in uguale posizione, eseguiti in un'altra tavoletta di spessore di 12 millimetri, dalla cui faccia inferiore, al centro, si diparte appunto la molla.

I movimenti compiuti dalla gabbia data la sua sospensione a molla, quando, nell'interno di essa, gli animali in esame si agitano, sono generalmente in direzione verticale ed alternativi e le cose sono disposte in maniera che il fondo della gabbia stessa, vada a toccare la manopola di un tasto telegrafico.

Tale tasto chiude, quando viene premuto, un circuito elettrico interessato ad una batteria di pile ed agli avvolgimenti della elettrocalamita di un campanello elettrico per corrente continua, modificato. Nelle condizioni di riposo, l'insieme è stabile e pertanto una specie di stilo applicato all'ancoretta mobile della elettrocalamita, rimane immobile, quando però, per l'oscillazione della gabbia si determinano delle serie di chiusure ed aperture del circuito della pila sull'elettromagnete, si ha una periodica e frequente successione di movimenti dell'ancoretta e quindi dello stilo unito ad essa. Ora, se si fa in modo che lo stilo stesso poggi sul cilindro annerito ed affumicato di un chimografo o di altro apparecchio di registrazione dello stesso genere, il movimento dello stilo determina sulla carta della registrazione stessa, una serie di piccole ma nette tracce corrispon-

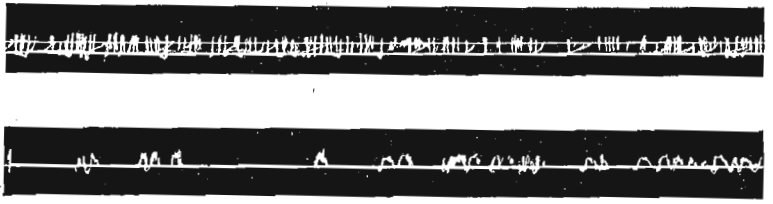
denti quantitativamente al movimento delle bestiole: in assensa di movimenti degli animali, il segno tracciato dallo stilo immobile sulla carta che gli scorre lentamente sotto, è invece limitato ad una linea continua.

Ero riuscita ad ottenere il chimografo in prestito presso un laboratorio di ricerche biologiche; ad ogni modo debbo dire che non è affatto difficile affrontare la costruzione di un simile apparecchio del quale anzi, nella sezione V di quest'opera, viene fornito un interessante progetto. La più adatta velocità di scorrimento della carta sotto allo stilo si dimostrò essere quella di circa 7 od 8 centimetri al secondo, il che, data la possibilità dello spostamento a spirale della traccia sulla carta, rappresentava per un cilindro di registrazione del diametro di 15 centimetri fatto ruotare al regime di un giro al minuto un'autonomia sufficiente per questi lavori.

Lo stato di attività di ciascuno dei topi veniva misurato, ogni giorno, per un'ora, con l'animale nell'oscurità, quando cioè tali specie risultano più attive. Nella fig. 49, sono fornite le copie di due registrazioni del comportamento di uno stesso ratto, prima e dopo la somministrazione della sostanza.

Gli effetti della cloropromazina sull'intelligenza degli animali, vennero provati con l'aiuto di una specie di labirinto trasformabile, nel quale cioè potevano essere variate le possibilità dei percorsi e la posizione degli ostacoli (rappresentati da divisori rettangolari da inserire lungo i percorsi stessi). A volte, l'animale era messo nella necessità di passare al disopra o al disotto di un ostacolo a seconda che l'ostacolo stesso era stato ruotato in modo che la sua apertura risultasse in basso od in alto. La cassetta contenente il labirinto era stata coperta, in modo che gli animali che si trovavano in essa non potessero essere distratti da quello che stava avvenendo nell'ambiente in cui il labirinto stesso era sistemato.

Per provare poi l'abilità degli animali ad adattarsi alle variazioni introdotte nel labirinto, questo veniva alterato quattro volte per ogni gruppo di animali nel corso dell'esperimento. Da principio, gli animali di controllo richiedevano ben sette percorsi completi del labirinto per apprendere la costituzione, e nelle ultime volte in cui il percorso veniva ripetuto, essi impiegavano un tempo di soli 30 secondi. invece degli 8 minuti che impie-

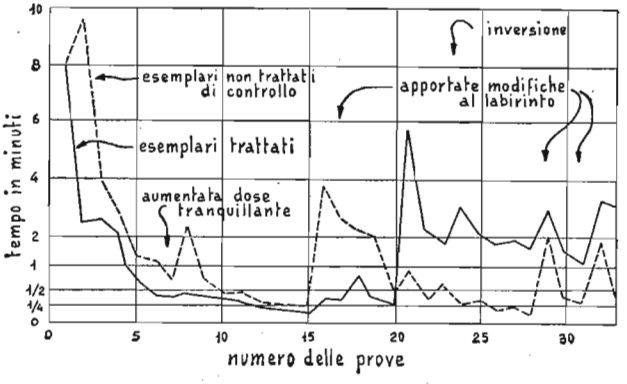


49. *In alto,* registrazione chimografica dell'attività di un topo non trattato; *in basso,* registrazione di un esemplare trattato con sostanze tranquillanti.

gavano all'inizio. Il gruppo di animali che aveva subito il trattamento con il tranquillante, appariva richiedere un numero maggiore di prove, prima di raggiungere un'abilità comparabile a quella dei ratti di controllo; all'inizio anzi, tali ratti giunsero addirittura a perdere la strada. La reazione di questi esemplari divenne però molto significativa durante la fase della riprova condotta sull'esperimento.

Durante tale prova i ratti del gruppo di controllo, appresero a percorrere il tratto corretto del labirinto impiegando, una volta assunta la necessaria esperienza, solamente cinque secondi. Mentre gli stessi esemplari però erano ancora sotto l'effetto della cloropromazina, nessuno di essi avrebbe potuto compiere lo stesso percorso in meno di un minuto. Al contrario, i ratti trattati in precedenza con la sostanza tranquillante, dopo essere tornati alle condizioni originarie, appresero appunto a compiere il percorso in questione in cinque secondi. In più, quando la fase di incrocio dei rilevamenti era avviata, la sostanza aveva, sugli animali di controllo, l'effetto di far loro dimenticare il percorso del labirinto che essi pur poco prima avevano appreso perfettamente. Da questo sarebbe apparso evidente che la sostanza aveva un effetto deprimente sulla memoria, come anche sull'intelligenza delle bestiole.

Viene il fatto di chiedersi se questa sostanza abbia analogo effetto depressivo su altre funzioni organiche e quello che più importa, anche sull'organismo umano. Fu per questo che protrassi le mie ricerche esaminando tra l'altro le variazioni che si verificavano nel sangue dei topi sottoposti alla prova. Allo scopo di danneggiare il meno possibile i miei esemplari, ne prelevai il sangue tagliando un tratto di meno di un millemtro dalla



50. Grafico di comparazione del comportamento di topi trattati e di topi non trattati introdotti in un labirinto.

coda delle bestiole. Va detto tra l'altro che, nel corso di questa operazione, mi accorsi ben presto, come tali animali non fossero affatto disposti a collaborare prestandosi al trattamento ed alle altre operazioni più o meno dolorose. Dapprima, infatti tentavo il prelevamento del sangue tenendo semplicemente i ratti nella mano, ma presto, in vista specie delle reazioni alquanto energiche di essi, mi orientai verso la tecnica di avvolgere l'intero corpo delle bestiole in un pezzo di panno, cercando soprattutto di bloccare le estremità e la testa di essi. Ancora più tardi, mi sono orientata verso l'impiego di uno speciale recipiente di vetro in cui introducevo l'esemplare, in modo che vi rimanesse immobilizzato, con la sola coda all'esterno, mentre eseguivo l'operazione.

Estraevo il sangue usando comuni pipette graduate per usi clinici, due campioni di sangue da ciascuno dei ratti in esame: uno dei campioni serviva al conteggio dei globuli rossi che vi erano contenuti; l'altro campione serviva invece per la valutazione del numero dei globuli bianchi.

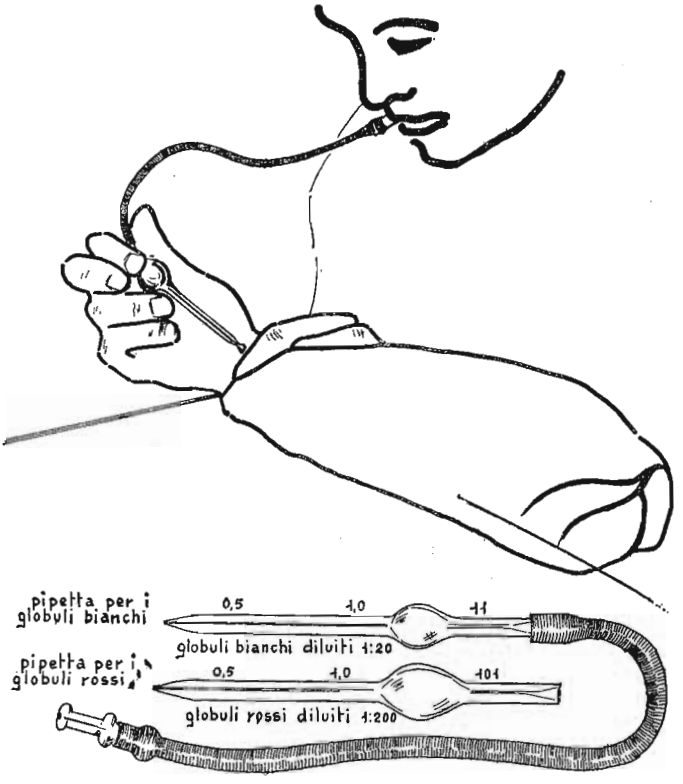
Per facilitare la raccolta del sangue, avevo munito le estremità superiori aperte delle pipette di uno spezzone di sottile tubo di plastica attraverso il quale esercitavo nel tubo stesso una leggera aspirazione che facilitava l'afflusso del sangue della pipetta dall'estremità inferiore, assottigliata, posta in contatto con l'estre-

mità della coda della bestiola dalla quale trasudava un poco del liquido. La quantità di sangue da aspirare in ogni pipetta doveva essere tale da farne giungere il livello sino alla graduazione 0,5; dopo di che sempre con il sistema dell'aspirazione provvedevo a fare entrare nella pipetta, un quantitativo di liquido diluente sufficiente per portare il livello sino alla graduazione massima, esistente sulla scala del tubo.

Quando stavo conducendo delle ricerche per valutare i globuli rossi, il segno che adottavo come livello da raggiungere era l'11, mentre per i globuli bianchi adottavo il segno 101. Il liquido diluente per i globuli bianchi consiste di una parte in volume di acido cloridrico puro in cento di acqua distillata; esso ha l'effetto di distruggere i globuli rossi. Il fluido per diluire il campione di sangue destinato alla valutazione dei globuli rossi, consiste di una soluzione in 200 cubici di acqua distillata, di mezzo grammo di cloruro mercurico, cinque grammi di solfato sodico ed un grammo di normale sale da cucina raffinato: in questa soluzione, sono appunto i globuli bianchi che risultano distrutti.

Al conteggio delle cellule contenute nel sangue provvedevo per mezzo di uno speciale apparecchio ottico nel quale il campione visivo veniva suddiviso in una specie di reticolo di quadrati identici, qualcheccosa, insomma, di simile al reticolo che è stampato sulla carta da disegno millimetrata. In assenza di questo apparecchio avrei potuto effettuare il conteggio, sia pure alquanto approssimato, del contenuto dei vari globuli con il sistema del confronto tra un vetrino sul quale fosse stato applicato un campione del sangue dopo sottoposto ad un procedimento di colorazione ad un vetrino sul quale era invece un campione di sangue, a concentrazione tarata e nota del contenuto di globuli.

Il conteggio di globuli rossi, eseguito a più riprese durante gli esperimenti non fornì alcuna indicazione di anormalità ed il livello nei campioni prelevati dai ratti trattati con il tranquillante era sostanzialmente uguale a quello del sangue prelevato dagli animali di controllo. Il conteggio dei globuli bianchi denunciò immediatamente un sostanziale aumento di questi durante il tempo nel quale gli animali erano stati sottoposti al trattamento: le indicazioni erano di 22.000 globuli bianchi per milli-



51. Prelevamento di un campione di sangue di un topo od un ratto.

metro cubico nel sangue dell'animale trattato, contro i soli 14.000 globuli nello stesso quantitativo di sangue di un esemplare di controllo.

Tali conteggi vennero eseguiti su tutti i ratti una volta alla settimana per le prime tre settimane, dall'inizio del trattamento.

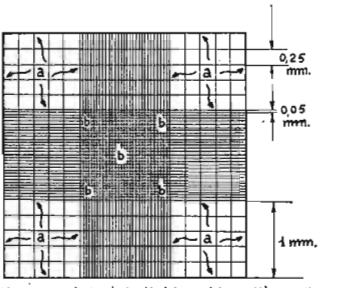
Nel periodo in cui avveniva l'incrocio, ossia il passaggio degli animali precedentemente trattati, alla funzione di controllo e di quelli che in origine erano di controllo, alla funzione di esemplari da trattare, vennero condotti rilevamenti analoghi a quelli dell'inizio degli esperimenti. In un solo caso eccezionale comunque tutti i gruppi di animali fornivano indicazioni so-

stanzialmente uguali: fatto questo che si verificò dopo che l'esperimento era stato protratto per due mesi, e questo mi fece pensare che i ratti trattati, avevano cominciato a presentare una sorta di tolleranza per la cloropromazina.

Dei campioni di sangue applicati su vetrini e colorati, vennero esaminati con un microscopio sul quale era stato installato un obbiettivo ad immersione in olio, da 97 ingrandimenti e ripetuti con lo stesso strumento sul quale era stato applicato un obbiettivo a secco da 43 ingrandimenti e con un altro pure a secco da 10 ingrandimenti: in tutti i casi, l'oculare sullo strumento era da 10 ingrandimenti, cosicché le osservazioni poterono essere condotte con un potere di ingrandimento complessivo di 970, 430 e 100 diametri.

La tecnica per l'esecuzione di campioni di sangue « spalmato » sui vetrini non è affatto difficile, ove si segue una procedura convenzionale. Occorre per prima cosa pulire a fondo una certa serie di vetrini, lavandoli con un solvente quale la trielina e quindi una volta essicata questa, continuando il lavaggio con acqua caldissima addizionata da un detergente attivo ma non schiumogeno, possibilmente con una polvere abrasiva di media durezza. Una piccola goccia di sangue viene dapprima posata vicino ad una estremità di un vetrino appena pulito, poi la estremità di un secondo vetrino viene tenuta ad un angolo di 45° rispetto ad un punto compreso tra la goccia ed il centro del secondo vetrino, in modo che la goccia, giunga lentamente ad inumidire la costola inferiore del vetrino superiore; in queste condizioni, per capillarità, il sangue si distribuisce immediatamente lungo la linea di contatto tra i due vetrini. Una volta che questo si sia verificato, il secondo dei vetrini viene rapidamente spinto in avanti in direzione della estremità opposta del primo. In questa maniera il campione di sangue viene distribuito sotto forma di un velo uniforme e sottilissimo che aderisce al vetrino inferiore. Occorre evitare di applicare la goccia di fronte al vetrino superiore, e spingere questo con l'estremità dell'altro vetrino: in tale modo, infatti, le cellule dei globuli potrebbero essere costrette a scorrere tra i due vetri e risultarne distrutte in parte.

Lo strato di specimen viene lasciato seccare sino a quando assume una certa viscosità ed adesività. Nelle mie ricerche ho



Numero dei globuli bianchi nell'area "a" moltiplicato 50 = globuli bianchi contenuti in un mm. cubo. Numero dei globuli rossi nell'area "b" moltiplicato 10·000 = globuli rossi contenuti in un mm. cubo

52. Schema di un reticolo per il conteggio delle cellule contenute nel sangue.

fatto uso di colorante di Wright, che può anche essere preparato dagli ingredienti che lo formano nel modo seguente: una soluzione, in 97 cubici di alcool metilico rettificato, di 0,3 grammi di sostanza colorante e tre grammi di glicerina. Una goccia di questa soluzione viene applicata sul vetrino dove viene lasciata agire per circa 3 minuti; allo scadere del tempo, segue l'applicazione di un'altra soluzione composta di 1,63 grammi di fosfato di potassio e 3,2 grammi di fosfato di sodio in un litro di acqua distillata. Va da sé che gli ingredienti delle due formule di cui sopra, possono essere usati in quantità inferiori di quelle prescritte, a patto che tutti gli ingredienti di ciascuna di esse, siano ridotte della stessa proporzione. Dopo che la seconda soluzione abbia agito sullo specimen per cinque minuti, il vetrino preparato viene lavato con attenzione con acqua distillata, quindi viene lasciato seccare all'aria aperta, in assenza assoluta di polvere e viene quindi disposto al di sotto dell'obbiettivo del microscopio per la necessaria osservazione.

I campioni ottenuti da ratti sottoposti al trattamento con la sostanza citata, dimostravano l'aumento nella misura del 20% dei globuli bianchi, del tipo cosiddetto dei linfociti ed una diminuzione nella specie dei globuli bianchi neutrofili. Anche sotto questo aspetto, una prova condotta un paio di mesi dopo l'inizio del trattamento, si dimostrò, all'apparenza, eccezionale ed anche questo faceva pensare allo svilupparsi di una sorta di adattamento o di tolleranza dell'animale per la sostanza.

Per avere un altro indice di reazione della sostanza da parte degli animali, curai il rilevamento del ritmo cardiaco di tutti gli esemplari due volte durante ogni fase dell'esperimento. Questo esame si dimostrò alquanto difficoltoso per il fatto che il ritmo di pulsazione di un esemplare sano di queste bestiole è dell'ordine dei 375 battiti al minuto e nelle successive osservazioni constati che tale ritmo veniva pressoché raddoppiato a seguito della somministrazione della cloropromazina; a causa di questa particolarità, non si sarebbero quindi potuti effettuare controlli quantitativi diretti, con l'uso di uno stetoscopio applicato sul torace dei ratti stessi.

Pensai quindi di risolvere altrimenti il problema, con l'aiuto di un normale registratore a nastro: in particolare, tenevo il microfono di questo apparecchio contro il petto dell'animale mentre il magnetofono era in registrazione alla velocità di 9,5 centimetri al secondo, e continuavo la registrazione per qualche tempo; poi predisponevo il magnetofono per l'ascolto alla velocità di 4,75, ossia a quella metà della velocità di registrazione ed in tali condizioni contavo il numero di colpi che si potevano udire dall'altoparlante, durante il periodo di tempo di un minuto: bastava a questo punto moltiplicare per due il valore del conteggio effettuato, per avere una indicazione abbastanza precisa del ritmo cardiaco.

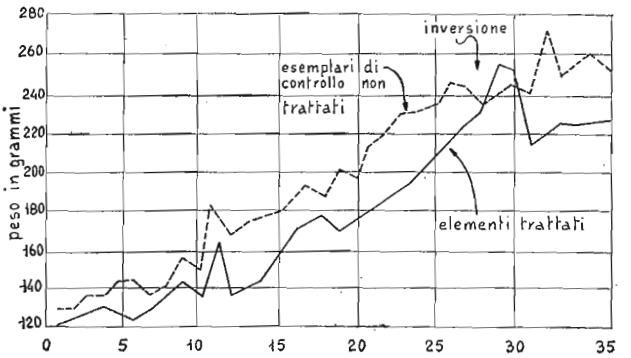
I ratti tendono ad agitarsi alquanto quando sono posti in vicinanza od in contatto con il microfono del magnetofono, specialmente nei primi istanti, per cui conviene lasciar trascorrere alcuni minuti dopo l'avvicinamento del microfono, prima di mettere in funzione il magnetofono per l'effettiva registrazione. Il ritmo cardiaco in un ratto sottoposto al trattamento con il tranquillante risultò di un valore medio di 639,6 colpi al minuto mentre l'animale di controllo nelle stesse condizioni, denunciava un ritmo cardiaco di soli 389 colpi al minuto. Come si vede, anche i valori per l'animale di controllo e che avrebbe dovuto essere in condizioni normali, risultano alquanto alterati, a causa della eccitazione della bestiola, a causa della manipolazione alla quale doveva sottostare durante tali operazioni.

La temperatura corporea di un ratto trattato con il tranquillante risultò essa pure elevata in misura eccessiva, raggiungendo un valore medio di 30,5 gradi in luogo dei 30,0 gradi denunciati

dagli esemplari di controllo. In ogni caso, comunque anche la più bassa temperatura rilevata sull'animale trattato con la sostanza in esame era sempre superiore al valore più elevato di temperatura che regnava invece tra gli esemplari di controllo. Tale fatto, considerato non disgiuntamente dal fatto dell'aumentato livello del numero dei linfociti ed al diminuito numero dei neutrofili, fa pensare che i ratti sottoposti alla sostanza tranquillante avessero contratto una sorta d'infezione o qualche cosa di simile. Ciò del resto, veniva confermato anche dal comportamento delle bestiole, talune delle quali apparivano indisposte per una certa parte del tempo. Quanto alle temperature, esse vennero prese sempre con termometri convenzionali di tipo rettale.

Un'annotazione accurata del peso corporeo venne fatta ogni giorno come venne anche annotato il quantitativo di alimenti secchi e di acqua consumati. Da principio, nel corso dell'esperimento, il rapporto del peso dell'acqua rispetto al peso totale del corpo variò in direzione tale per cui fece pensare che una delle conseguenze determinate dalla sostanza somministrata aveva causato una certa disidratazione; questa ipotesi, comunque, non venne confortata dalla controprova fatta nella seconda serie di esperienze. Entrambi i gruppi subirono analoghi aumenti di peso, nel corso degli esperimenti, come appare dalla tavola della fig. 53.

La cloropromazina tende anche a ridurre il ritmo della re-



53. Grafico di comparazione del peso di esemplari di topi trattati e di altri non trattati.

spirazione, in misura sensibile. I ratti trattati con il tranquillante presentarono infatti un ritmo di circa 72 inalazioni al minuto, contro le 95 circa presentate dagli esemplari di controllo. Tali discrepanze, comunque, si inquadravano abbastanza bene anche con la relativa attività fisica dei due gruppi, durante gli esperimenti, allorché i conteggi vennero fatti tre volte nel corso di ogni fase.

Un'esame accurato venne fatto durante l'intero svolgimento dell'esperimento relativamente all'aspetto fisico esterno dei ratti dei due gruppi. Comunque mi capitò di rilevare un certo numero di ovvie differenze. Delle piccole eruzioni cutanee si manifestarono pochi giorni dopo che ciascuno degli animali era stato iniziato al trattamento con il prodotto tranquillante; in più, il pelame delle bestiole trattate, era divenuto ruvido e si asportava con facilità. Allorché gli esemplari del primo gruppo ricevettero il tranquillante, presentarono dei violenti tremiti muscolari ogni qual volta le bestiole si svegliavano dal riposo. Questo fenomeno non venne però riscontrato negli esemplari nel corso della controprova. Il comportamento dei singoli individui dei gruppi fece sospettare anche che, almeno nei ratti, la cloropromazina agisse come uno stimolante a sfondo sessuale.

La tendenza all'itterizia segue a volte la somministrazione della cloropromazina, secondo quanto riferiscono le pubblicazioni professionali: tale reazione apparve anche sui ratti dei due gruppi, due settimane circa dopo che il trattamento aveva avuto inizio, i loro occhi si schiarirono ed anche le feci persero molto colore. Allo scopo pertanto di indagare su qualche possibile danneggiamento subito dal fegato delle bestiole a seguito del trattamento, fu giuocoforza il sacrificare due esemplari, uno dei quali del gruppo di controllo e l'altro di quelli trattati, e ciò avvenne 17 giorni dall'inizio del periodo di controprova del trattamento, e che ebbe seguito con l'autopsia delle due bestiole. Alcune sezioni del tessuto del fegato vennero asportate e conservate nello xilolo: entrambi i campioni apparivano anormali; il danno comunque apparve più serio, sul campione che era stato tratto dall'esemplare che stava subendo il trattamento con il tranquillante, nell'epoca in cui veniva sacrificato e sezionato. Questa parte dell'esame si era dimostrata interessante e promettente, ma dato che i campioni appartenevano a

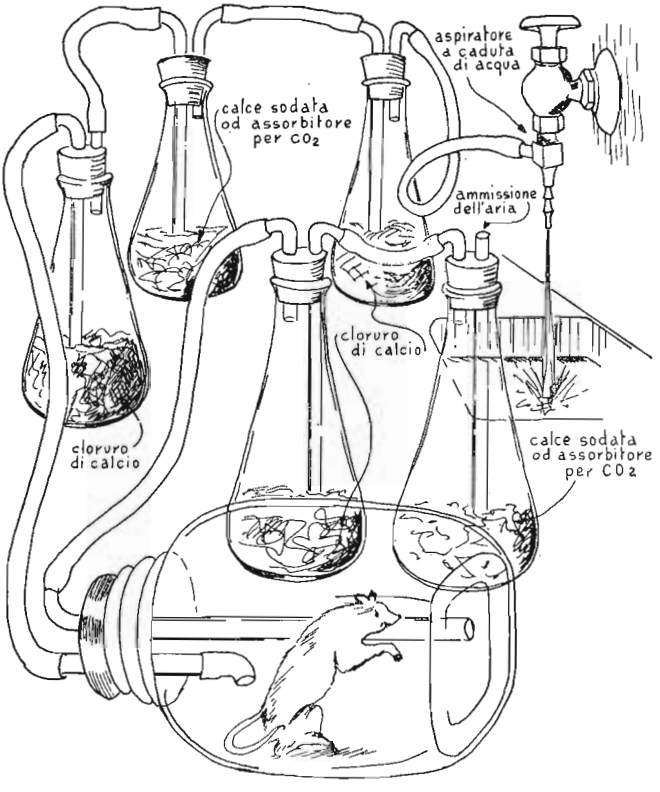
due soli animali, i risultati ottenuti non poterono essere adottati come valore assoluto e conclusivo.

Non vennero invece notati effetti di glicemia, ossia di predisposizione al diabete, come potei constatare adottando il procedimento rapido per la prova qualitativa, molto diffuso nelle prime ricerche di laboratorio e di ospedale. Tali perizie vengono in genere attuate immergendo delle cartine particolarmente preparate nelle urine dell'organismo sospetto di diabete: se tracce di zucchero sono presenti in tale liquido, la striscetta vira al blu più o meno definito, nella porzione immersa.

Venne anche misurato il metabolismo degli animali con una variazione del procedimento ideato nel 1890 dal celebre fisiologo britannico, J. S. Haldane (v. anche il prossimo capitolo). In sostanza la prova consiste nel somministrare all'animale, ad intervalli conosciuti, dell'aria a contenuto minimo di vapore di acqua ed anidride carbonica e quindi sottraendo il peso perso effettivamente dall'animale dal peso del vapore di acqua e di anidride carbonica che vengono esalate durante la prova.

Questo procedimento permette di giungere al peso del gas ossigeno assorbito dall'animale e quando questo valore viene usato come dividendo rispetto al peso dell'anidride carbonica esalata (calcolando naturalmente i pesi molecolari dell'ossigeno e del carbonio), il risultato di questo calcolo è uguale al quoziente respiratorio dell'animale.

Il complesso da me realizzato consisteva di una pompa di aspirazione a caduta di acqua e di cinque contenitori Erlenmeyer da un litro ciascuno collegati in serie mediante tubetti di vetro ad angolo, introdotti dei tappi di gomma applicati su di essi. Della serie, il primo contenitore conteneva un quantitativo di circa 600 millilitri di Ascarite, una sostanza commerciale avente la proprietà di fissare l'anidride carbonica dell'aria che vi viene fatta passare; va da sé che qualsiasi altro prodotto avente la stessa proprietà chimica avrebbe potuto essere usato in questo come nel penultimo dei contenitori. Il secondo recipiente conteneva un quantitativo analogo di cloruro di calcio anidro, sostanza questa che presenta la particolarità di fissare il vapore di acqua. Il tubo di ammissione del secondo recipiente era stato collegato alla conduttura di scarico di un recipiente diverso dalla serie dei cinque. In particolare questo era un vaso della



54. Disposizione autocostruita e casalinga, per la misurazione del ciclo metabolico in animali di piccola taglia.

capacità di due litri, con imboccatura abbastanza larga e munita di tappo a tenuta: tale vaso, era stato destinato a contenere l'animale nel corso delle prove su di esso. La conduttura di arrivo del vaso in questione era collegata rispettivamente ad un recipiente che conteneva del cloruro di calcio a sua volta collegato ad un altro, contenente l'Ascarite.

Tutti i contenitori e gli animali venivano pesati con precisione ed individualmente, prima e dopo gli esperimenti, ad intervalli di un'ora. La perdita di peso, in grammi, veniva usata come dividendo per il valore ottenuto moltiplicando per 0,7282

l'aumento di peso del quarto e del sesto contenitore; valore, quello di 0,7282 che sta ad indicare il rapporto tra i pesi molecolari dell'ossigeno e del biossido di carbonio.

Solo due esemplari di ciascun gruppo erano rimasti all'epoca delle prove del quoziente respiratorio, in quanto l'altro esemplare di ogni gruppo era stato utilizzato per l'autopsia che aveva portato all'esame dei visceri e del fegato in particolare. Il quoziente respiratorio dei ratti sottoposti all'azione del tranquillante era rispettivamente di 0,56 e 0,58, mentre nel caso delle due bestiole non trattate e che servivano da controllo era stato rispettivamente di 0,82 e di 0,65. Anche questa volta comunque, il valore statistico delle prove era limitato in quanto si riferiva ad un numero minimo di casi. Le differenze nella determinazione individuale degli animali, comunque, permettevano di concludere che nel caso degli esemplari trattati la ridotta attività metabolica corrispondeva anche alla riduzione del ritmo respiratorio.

Da questo esperimento sarebbe sembrato che effettivamente, anche un ratto poteva venire « tranquillato » mediante una costante somministrazione di cloropromazina, sebbene questo avvenisse sempre con un detrimento momentaneo delle condizioni di salute dell'animale. Tale sostanza deprime la memoria della bestiola come anche la sua intelligenza, ne altera la composizione sanguigna, incoraggia il prodursi di infezioni, aumenta la temperatura corporea ed il ritmo cardiaco, riduce la sua attività metabolica, determina stimoli anormali nella sfera sessuale e ne danneggia infine il fegato, la pelle, ed il pelame.

4

MISURAZIONE DEL METABOLISMO DEGLI ANIMALI

Mentre stava studiando un progetto per partecipare ad un concorso scientifico che era stato indetto nel suo istituto, Nancy Rentschler, studentessa liceale di Mayfield nell'Ohio riuscì a mettere a punto un apparato con il quale era possibile misurare il regime a cui gli animali utilizzano il valore calorico e chimico del nutrimento loro somministrato. Nel presente capitolo è descritto il complesso ed il suo funzionamento; vengono forniti dettagli per esperimenti in cui sono utilizzati dei topi come soggetti.

Durante il periodo dei miei studi di liceo, mi capitò di osservare in un testo scolastico lo schema di un complesso che serviva per la misurazione del metabolismo animale. Si trattava di un apparato progettato per l'uso su animali medi, come cani ecc. e presentava pertanto il problema di occupare uno spazio assai superiore di quello che le mie possibilità ambientali mi concedevano. Il sistema mi appariva però interessante e, su di esso, involontariamente, il mio pensiero ricorreva con frequenza. Non sapevo gran che in fatto di metabolismo ma mi sembrò che avrei potuto comprendere molto, disponendo di questo apparato, sia pure in proporzioni ridotte, per risultare adatto non ad un cane, ma piuttosto ad un topo. Un ulteriore stimolo verso questo campo di ricerca mi derivava dal fatto che se tale progetto si fosse potuto realizzare, avrebbe certamente trovato una facile strada di successo, in mezzo a ben 220 altri progetti scientifici che mi risultavano già presentati al concorso; per questo, mi dedicai al progetto all'inizio di gennaio dedicandovi parte del tempo libero e riuscii ad attuare con esso i primi esperimenti, circa un mese più tardi.

I topi e l'apparato

Gli animali che usai negli esperimenti erano stati acquistati in uno dei tanti negozi specializzati, esistenti del resto dovunque, in cui vengono venduti piccoli animali, locali ed esotici, eventualmente acquari ed aviari. Al momento dell'acquisto, venni informata che le bestiole erano già da tre generazioni allevate presso quel negozio. Dapprima ebbi qualche difficoltà nel manipolare gli animali, ma ben presto appresi come il sistema più sicuro per prenderli era quello di afferrarli per la coda, a metà della sua lunghezza. Dopo una settimana circa, i topi divennero molto tranquilli sebbene occasionalmente, anche in seguito, si irritassero, cercando di mordere la mano di chi li maneggiava.

Per attuare i miei esperimenti divisi i 15 esemplari che avevo a disposizione in quattro gruppi, vale a dire tre nel primo, e quattro nei restanti; sottoponendo ogni gruppo ad una dieta o ad una sostanza terapeutica diversa mi sarebbe stato possibile seguire le differenze che si verificavano nei processi metabolici degli animali.

Negli esperimenti seguii, come avevo accennato, il metodo sperimentale ideato dal noto fisiologo britannico J. S. Haldane nel 1890. La disposizione si compone principalmente di una camera che accoglie l'animale, dei cinque contenitori del tipo Erlenmeyer contenenti varie sostanze chimiche collegati tra di loro mediante condutture in maniera che un flusso controllato di aria possa scorrere attraverso al sistema (v. fig. 54).

Lo scopo del complesso è quello di misurare l'entità dell'ossigeno assorbito dall'animale e la quantità di anidride carbonica che questi invece espelle. Il rapporto dell'ossigeno inalato rispetto alla quantità di anidride espulsa sta ad indicare il valore del processo metabolico dell'animale e viene anche chiamato « quoziente respiratorio ». Tale quoziente varia, tra l'altro, in funzione della dieta alla quale l'animale è sottoposto. Per convenzione quando l'alimentazione avviene per mezzo di soli carboidrati, il quoziente viene adottato con un valore standard di 1, quando l'alimentazione include invece delle sostanze grasse il valore medio raggiunge il livello di 0,7; con una alimentazione

a base di proteine, il valore varia ma raggiunge solo 0,8; ove si somministri alla bestiola dell'alcool, si ha un valore di 0,667. I quozienti respiratori nel caso di animali normali e sotto condizioni medie ambientali e di alimentazione, varia pertanto da circa 0,72 a 0,97.

Ciascun contenitore della serie venne munito di un tappo di gomma a tenuta con due fori alquanto decentrati, attraverso i quali vennero fatti passare due tubetti di vetro da 12 millimetri di diametro. Uno dei tubi era più lungo, al punto che giungeva a soli 25 millimetri dal fondo del recipiente mentre l'altro, molto più corto, attraversava appena il tappo di gomma e giungeva ad affacciarsi all'interno del recipiente. In ogni caso, il circuito venne predisposto in modo che l'aria arrivava in un recipiente attraverso il tubetto più lungo e ne usciva attraverso quello corto. Il primo ed il quarto dei contenitori (non considerando il contenitore più grande, che serve da camera per l'animale), contenevano uno strato di circa 80 millimetri di spessore di calce sodata, sostanza questa che tende ad assorbire, fissandola, l'anidride carbonica contenuta nella miscela gassosa che viene messa in condizione di attraversarla. Nel secondo e nel terzo contenitore vi era invece un quantitativo analogo di cloruro anidro di calcio, sostanza questa che presenta la caratteristica di fissare il vapore d'acqua che le viene presentato. Nel quinto dei contenitori, vi era invece una miscela di pomice in granuli medi, intrisa con acido solforico purissimo; va però detto incidentalmente che le condizioni ideali sarebbero state quelle di usare in tutti e tre i recipienti citati, vale a dire il secondo, il terzo ed il quinto, granelli di pomice, con acido solforico puro: l'unico fattore che può scoraggiare quest'ultima soluzione è quello della difficoltà di preparazione della pomice stessa, nelle condizioni volute, vale a dire ad uniforme granatura e perfettamente neutralizzata; per questo, mi sono adattata ad impiegare la soluzione ideale in questione solo nel quinto, mentre ho adottato il ripiego del cloruro di calcio negli altri due. La granatura della pomice deve essere di circa 12 millimetri di diametro, la fonte ideale di questo prodotto sono le drogherie ed una qualità ancora migliore si può acquistare presso i negozi di prodotti chimici od anche presso la Carlo Erba. La pomice, prima di essere messa in opera, richiede un trattamento

di preparazione che consiste nel riscaldare il materiale sino al calore rosso, con una torcia ad acetilene a fiamma ben carburata e quindi nel gettare i granelli ancora caldissimi in una vaschetta di materiale refrattario contenente dell'acido solforico concentrato; dopo qualche tempo, la granella viene raccolta e fatta colare sino a quando non abbia lasciato cadere tutto l'eccesso di acido.

Anche la calce sodata, per quanto possa essere acquistata già pronta può essere preparata in casa, mescolando la calce normale con una soluzione in acqua distillata di idrato di sodio, nella proporzione di 100 grammi di idrato in 250 di acqua. A questa soluzione si aggiunge la calce sino a quando la miscela non sia divenuta secca: in queste condizioni la polvere, che deve essere scartata, viene separata dalla granella per mezzo di un setaccio. I granuli più grossi sono spezzati con l'aiuto di un martello: solo i granelli con dimensioni tali da passare attraverso il setaccio con maglie da 5 millimetri vengono utilizzati per il riempimento dei contenitori.

Il potere assorbente della calce sodata non dura a lungo ed è opportuno preparare tale sostanza con una scorta in modo da supplire al consumo che di essa viene fatto durante l'uso comune, senza avere la necessità di interrompere l'esperienza per un tempo eccessivo.

La camera destinata ad accogliere l'animale, da me adottata, era rappresentata da un bottiglione di vetro da due litri e mi resi conto della opportunità di applicare, sulla estremità del tubo più corto di scarico, un pezzetto di tubo di plastica per evitare che lo spigolo vivo di vetro potesse subire l'azione dei denti della bestiola e magari venir rotta e divenire pericolosa per l'animale stesso, in quanto avrebbe determinato dei tagli sulla sua bocca, come era accaduto diverse volte in precedenti occasioni prima che trovassi questa soluzione.

L'intero sistema dei recipienti e della camera doveva essere a tenuta ermetica per l'aria e per questo mi preoccupai di adottare dei tappi che assicurassero una chiusura perfetta, sia lungo le imboccature dei recipienti come anche lungo i fori eseguiti in essi, per il passaggio dei due tubi rispettivamente di entrata e di uscita dell'aria in circolazione; per lo stesso motivo ho anche curato che fossero a tenuta perfetta i giunti tra

le estremità dei tubetti di vetro sporgenti all'esterno dei recipienti e gli spezzoni dei tubi di gomma o plastica destinati a costituire le connessioni pneumatiche del sistema; inoltre in tutti quei punti in cui la giunzione presentava dei dubbi in fatto di sicurezza per la tenuta stagna, mi preoccupai di applicare un poco di adesivo flessibile ed ermetico, a base di gomma para. Dato che il complesso abbisognava di un sistema che assicurasse una circolazione dell'aria a circuito semiaperto, ritenni buona soluzione al problema in questione quella di usare, per mantenere detta circolazione, un aspiratore a caduta di acqua che avevo acquistato in un negozio di articoli e prodotti per chimica: tale apparecchio viene collegato al rubinetto dell'impianto idrico casalingo, dal quale scorre acqua sotto una buona pressione: in una specie di camera Venturi, si determina una depressione che viene appunto utilizzata mediante una connessione di gomma al tubetto di scarico dell'ultimo contenitore della serie.

L'aria contiene normalmente una proporzione del 3% di anidride carbonica ed una, meno stabile, proporzione di vapore di acqua. Entrambe queste sostanze dovevano essere rimosse dall'aria che entrava nel sistema, perché non potessero introdurre delle confusioni nei rilevamenti fatti a valle della camera dell'animale: a questa funzione provvedeva appunto il primo ed il secondo dei contenitori di Erlenmeyer attraverso cui l'aria passava dopo essere entrata nel sistema. In questa maniera si aveva un'aria sostanzialmente esente da vapore di acqua e da anidride carbonica che per l'aspirazione esistente alla estremità opposta del sistema, affluiva nella camera dove era contenuto l'animale. Questi nel processo della respirazione aspirava tale aria ed espirava invece una miscela di aria, vapore di acqua ed anidride carbonica, sostanze queste ultime due, che si producevano nell'organismo a causa dei processi vitali in corso. Il quarto ed il quinto dei contenitori servivano rispettivamente a misurare la proporzione di anidride carbonica (che reagiva con la calce sodata nel quarto contenitore per dare luogo ad acido carbonico). Il quarto ed il quinto contenitore dovevano pertanto essere pesati insieme per il fatto che nel corso della reazione di fissaggio dell'anidride carbonica, la calce sodata può svolgere delle tracce di vapore di acqua perdendo quindi parte

del suo peso: nel quinto contenitore, tali eventuali tracce di vapore di acqua venivano ulteriormente fissate.

Nell'allestire l'apparato per l'esecuzione di una prova, si pesavano con precisione gli ultimi tre contenitori avendo l'avvertenza, poi, di pesare insieme tra di loro, anche il quarto ed il quinto; dopo ciò l'animale in prova era introdotto nella camera apposita che veniva immediatamente chiusa, in modo da assicurare una perfetta tenuta di aria ed anche essa veniva pesata con cura. Da questo momento aveva inizio la prova vera e propria: la camera era collegata all'apparato e la pompa aspiratrice di aria veniva messa in funzione aprendo il rubinetto dell'acqua alla quale era collegata. I topi di ciascuno dei gruppi vennero tenuti in osservazione per il tempo di un'ora ciascuno; al termine di questo tempo poi, la camera contenente la bestiola veniva tolta dal resto del complesso, chiusa con un tappo, e quindi portata rapidamente su di una bilancia di precisione, per effettuare la pesata prima che il contenuto di ossigeno nell'interno del recipiente, venisse consumato del tutto mettendo la bestiola in serie difficoltà per la ulteriore respirazione. Dopo quella sul recipiente con l'animale, si effettuavano anche le pesate sul terzo, quarto e quinto contenitore.

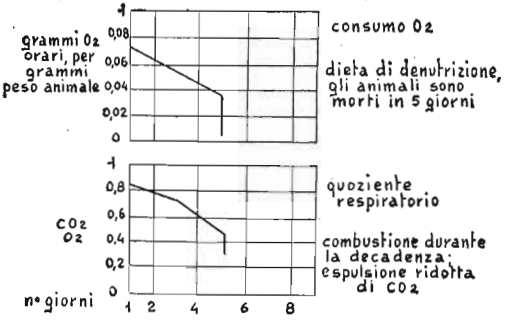
Il quoziente di respirazione poteva a questo punto essere calcolato. La differenza di peso tra il recipiente con l'animale all'inizio dell'esperienza e quello dello stesso recipiente con l'animale al termine della prova dava evidentemente l'indicazione del peso che era stato perso dalla bestiola. Il peso del terzo contenitore al termine della prova, meno il peso che lo stesso aveva all'inizio, forniva la indicazione del peso del quantitativo di acqua espulsa sotto forma di vapore dalla bestiola e fissata nel cloruro di calcio. Il peso del quarto e del quinto contenitore, al termine della prova, meno il peso degli stessi all'inizio, forniva invece il peso dell'anidride carbonica formata nei processi metabolici e fissata come si è detto dalla calce sodata. Il peso totale dell'acqua e dell'anidride carbonica, meno la perdita di peso del topo equivaleva, ovviamente, al peso dell'ossigeno assorbito. Il quoziente respiratorio veniva determinato dalla moltiplicazione del peso dell'acido carbonico per la frazione 32/44 e dalla divisione del risultato di questo primo calcolo per il peso dell'ossigeno assorbito. Il valore frazionario 32/44 è quello del rapporto

tra il peso molecolare dell'ossigeno e quello dell'anidride carbonica. L'impiego di questo valore nella equazione sta ad indicare il quantitativo di anidride carbonica che nel nostro caso veniva rappresentata dall'acido carbonico da essa derivato.

L'esperimento del metabolismo

Per condurre ricerche sugli effetti delle diete sul metabolismo animale, utilizzai due dei quattro gruppi in cui avevo inquadrati gli esemplari di cui ero entrata in possesso. Utilizzai invece gli altri due gruppi per le ricerche sugli effetti a carico dei processi metabolici, esplicati dall'attività della ghiandola tiroide delle bestiole. Al primo gruppo di quattro topi, venne somministrato della semplice acqua. Sebbene i topi vivano normalmente sino a nove giorni in assenza di cibo, gli esemplari sottoposti a questa prova morirono dopo quattro giorni solamente: era comunque probabile che essi avessero contratta una forma di polmonite alla quale risultavano più vulnerabili a causa della ridotta resistenza del loro organismo. Il quoziente respiratorio di essi si abbassò leggermente dall'inizio dell'esperimento, ma si mantenne entro ai limiti normali rappresentati da 0,7 e da 1, nel corso dei primi tre giorni. Tale valore comunque ebbe un forte e repentino abbassamento poco prima che le bestiole morissero. Il consumo di ossigeno però subì una costante riduzione durante l'intero periodo della osservazione: al termine degli esperimenti, cercai di costruire dei grafici in ordine al consumo di ossigeno come anche al quoziente di respirazione; nella fig. 55 sono appunto forniti due esempi di questi grafici.

Nel caso del secondo gruppo di topi, provvidi alla sostituzione della sola acqua che avevo adottata con il primo, con una soluzione al 17 per cento in acqua distillata di alcool etilico puro, non denaturato. Ciascuno dei topi ricevette una razione giornaliera di un grammo di escrementi di coniglio essiccati, a partire dal giorno 26 febbraio. Il 4 di marzo, mi accorsi che le bestiole tremavano e che si raggruppavano insieme nelle loro gabbie; temendo che essi potessero soccombere ove avessi tentato qualche esperimento provvidi subito alla loro alimentazione completa e li avvolsi in pezze di tessuto pulito ed asciutto, te-



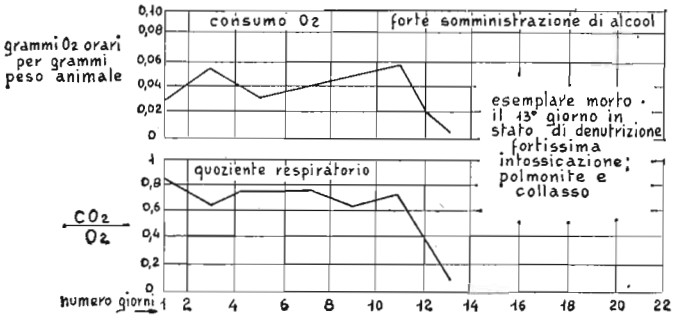
55. Grafico del metabolismo nei topi affamati.

nute calde. Per due giorni, la loro razione di vitto venne raddoppiata ed il terzo giorno venne portata al quantitativo di 1,5 grammi.

Il 9 marzo uno dei topi morì ed un altro ne morì il giorno successivo; nondimeno tentai ugualmente le prove sugli altri due esemplari rimasti, ma il ritmo della loro respirazione era così basso che non ebbi occasione di rilevare dei risultati valutabili, al termine di un periodo di ben due ore nell'interno dell'apparato per l'esame del metabolismo. Secondo quanto mi disse un amico medico, che avevo consultato nel corso delle prove, probabilmente, i due topi di questo gruppo, erano morti per parziale denutrizione e per uno stato di estrema intossicazione che culminò con il manifestarsi dell'affezione polmonare e quindi con il collasso finale.

Il consumo di ossigeno da parte del gruppo aumentò bruscamente durante i primi tre giorni della prova e poi continuò ad aumentare gradatamente sino ad un massimo che si manifestò proprio poco prima che gli animali morissero. Il quoziente respiratorio, sebbene piuttosto basso, si mantenne entro limiti normali sin quasi alla fine. Un'alimentazione ridotta, con un eccesso di alcool determinava l'accumularsi nel fegato delle bestiole, di quantitativi di grasso tali che riuscivano a ritardare alcune delle funzioni dell'organo. Anche i risultati di queste ricerche furono usati nella costruzione di un grafico di cui un esempio è visibile nella fig. 56.

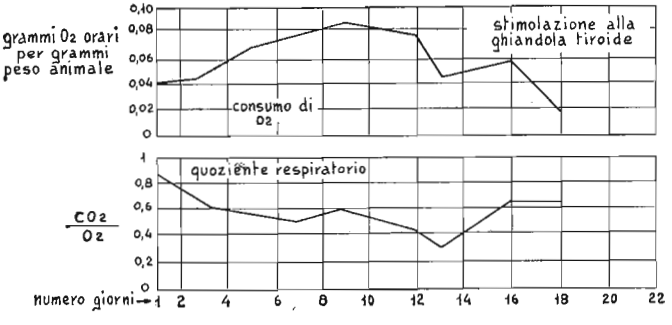
Il 27 febbraio, un gruppo di quattro topi fu sottoposto al trattamento consistente nella somministrazione di escrementi di



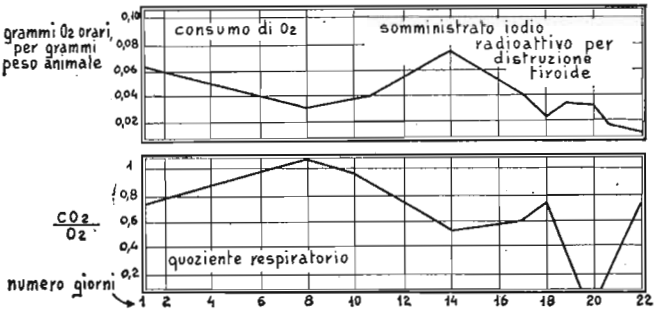
56. Grafici illustranti la reazione metabolica dei topi all'alcool.

coniglio essiccati e polverizzati, addizionati però con lo 0,1 per cento di ghiandola tiroide essiccata e polverizzata. Poiché l'aggiunta fatta, stimolava la tiroide degli animali che erano stati lasciati liberi di mangiare a volontà, essi guadagnarono rapidamente peso, nel corso dell'esperimento. Ad un certo momento, il dispositivo di prova subì un guasto per il quale due dei topi morirono soffocati, per cui dovetti limitarmi a condurre le prove con gli altri due rimasti.

Il consumo di ossigeno apparve diminuire negli ultimi giorni della prova, ma verosimilmente anche questo fenomeno anormale doveva essere stato determinato da un difetto prodottosi nell'apparato. Il quoziente respiratorio rimase al disotto del nor-



57. Schema di reazione metabolica in occasione di stimolazione alla tiroide nei topi.



58. Grafici delle reazioni metaboliche in occasione della graduale soppressione dell'attività della loro ghiandola tiroide.

male, sin quasi dall'inizio ed in sostanza non presentò speciali tendenze come si può vedere dal grafico della fig. 57.

L'ultimo gruppo, di tre topi, subì invece un trattamento diverso; a ciascuno degli esemplari che lo formavano venne iniettato il 26 febbraio un quantitativo di iodio radioattivo (I 131), corrispondente ad un valore di radiazione di 100 microcuries: tale quantitativo risultò essere una dose eccessiva, in quanto determinò la distruzione, in sole quattro settimane, della ghiandola tiroide delle bestiole trattate. Le iniezioni erano state eseguite in un laboratorio di ricerche mediche e biologiche, dove i topi vennero tenuti per tre giorni; da quando essi poi vennero riportati a casa, venne loro somministrata quanta acqua e quanto nutrimento solido essi avessero potuto consumare (adottando come nutrimento sempre quello rappresentato dagli escrementi di coniglio seccati e polverizzati).

L'aspetto esteriore degli esemplari del gruppo non mutò sostanzialmente durante il periodo della prova. Il consumo di ossigeno si abbassò gradualmente durante i primi otto giorni, dopo di che aumentò di nuovo sino ad un valore doppio del quantitativo minimo registrato, il che avvenne il quattordicesimo giorno dall'inizio. Più tardi, subì un nuovo abbassamento più o meno graduale sino a raggiungere nel 22° giorno, un valore di solo il 10 per cento del suo valore iniziale.

Il quoziente respiratorio era ugualmente variato entro ampi limiti, durante l'esperimento, ma presentò una graduale dimi-

nuzione sino all'ultimo giorno della prova, nel quale ebbe un nuovo aumento, da un valore prossimo allo zero, ad una quantità normale (vedi fig. 58). Queste variazioni erano state comunque previste per il fatto che la tiroide delle bestiole stava lentamente disgregandosi e quindi, la sua capacità produttiva subiva una corrispondente riduzione.

5

ESPERIMENTI DI CROMATOGRAFIA

Facendo scorrere una miscela di sostanze complesse attraverso un tubo riempito con una sostanza assorbente polverizzata, quale il carbonato di calcio, è possibile operare una separazione e quindi un ricupero dei vari ingredienti che formavano appunto la miscela di partenza. Nell'esperimento descritto qui appresso, questa tecnica di analisi, che è una delle più efficienti a disposizione dei biochimici, viene applicata per separare la clorofilla dalle foglie di vegetali che la contengono.

Durante l'ultimo decennio, migliaia di dilettanti hanno scoperto le affascinanti possibilità della cromatografia, od « analisi per assorbimento », come talvolta il processo in questione viene chiamato. Per quanto il botanico russo Michael Tswett avesse descritto il metodo della cromatografia nel 1906, la tecnica a cui egli faceva richiamo non incontrò un vero impiego tra i professionisti sino al 1930. In meno di due decenni, comunque, la cromatografia ha dischiuso nuove strade al sapere umano, ha avuto parte importante nella creazione di nuove industrie come anche nella espansione di quelle già esistenti ed ha inoltre ap-

portato un sostanziale contributo alla salute ed al benessere di milioni di persone.

Nessuna descrizione del metodo della cromatografia ha mai superato, per chiarezza e concisione, quella originaria compilata dallo stesso Twsett:

> Se una soluzione in etere di petrolio, di clorofilla, viene filtrata attraverso una colonna di una sostanza assorbente (personalmente uso per lo più della polvere di carbonato di calcio che introduco e comprimo in uno stretto tubo); i vari pigmenti presenti, nello stesso ordine con il quale sono assorbiti, si manifestano, a somiglianza dei raggi colorati che compongono uno spettro luminoso. In effetti, i differenti componenti di una sostanza colorata vengono separati e definiti lungo la colonna di carbonato di calcio in polvere secondo una legge e possono essere quindi valutati sia dal punto di vista qualitativo, come anche da un punto di vista quantitativo. Ho definito « cromatogramma » la colonna lungo la quale avviene questa differenziazione ed ho quindi dato nome di metodo cromatografico al metodo corrispondente che deve essere attuato.
>
> È di per sé evidente che i fenomeni di assorbimento descritti non sono limitati ai pigmenti della clorofilla e chiunque deve convenire che qualsiasi genere di composti chimici colorati ed incolori, sono soggetti alla stessa legge.

In sostanza, la cromatografia richiede solo una apparecchiatura composta da tre elementi: un contenitore nel quale viene conservato il campione, la colonna lungo la quale si sviluppa la colorazione ed, infine, un secondo contenitore nel quale si va a raccogliere il liquido esaurito, dopo cioè che questo abbia lasciato in vari strati lungo la colonna le sostanze che conteneva e delle quali interessava fare la valutazione. Una volta che la colonna sia stata riempita con polvere di marmo leggermente compressa in ogni suo punto, con la stessa energia si versa nello spazio rimasto ancora libero nella parte alta del tubo, ossia al disopra della zona occupata della polvere di marmo compressa, un poco del campione di liquido contenente le sostanze che interessa analizzare; il liquido viene quindi lasciato colare sino a quando non abbia inumidito un tratto pari ad 1/4 sino ad 1/10 della lunghezza della colonna di materiale assorbente.

Ciò facendo si determina la formazione, nella parte più alta dello strato di polvere di marmo, di una zona abbastanza definita a colore unito, che è poi quello dominante nella soluzione esaminata. A questo punto si getta via il quantitativo rimasto nella sommità del tubo e si versa in sua vece, nello stesso luogo, un solvente incolore, al che ha inizio il processo di separazione dei vari elementi e composti che erano presenti nella soluzione. Si dà appunto il caso che ciascuna sostanza presenti una determinata affinità per il solvente che viene usato e per la sostanza che viene introdotta nel tubo appunto come assorbimento. Gli studiosi di questa tecnica fanno riferimento a queste tendenze ed affinità come ad « attività verso il solvente » od « attività verso l'assorbitore ». Il livello di attività determina anche la posizione che viene occupata da una particolare sostanza nella colonna, in relazione alle altre con le quali è mescolata nel composto che interessa suddividere ed analizzare. Le sostanze più difficili da tenere in soluzione e più fortemente attratte dalle particelle della sostanza assorbente sono quelle che tendono a fissarsi prima e quindi nella parte più elevata della colonna dell'assorbitore. Quelle invece più solubili e meno facilmente attratte dalla colonna tenderanno a scorrere verso il basso, in questa ultima, ad una distanza che indicherà appunto il livello di assorbimento di ciascuna di esse, le sostanze si depositeranno dunque via via verso il basso, e saranno visibili attraverso il tubo di vetro o di altro materiale trasparente, come zone anulari di vario colore.

Gli estratti prelevati da talune foglie verdi, ad esempio, presentano più di 20 zone anulari distinte che vanno dal verde scuro, attraverso varie tonalità dell'arancione, rosa, giallo, e viola delicato, sino al bianco; tali colori stanno ad indicare le varie xantofille, flavoxantine, luneine, caroteni ed i pigmenti collegati a tali sostanze.

L'operazione dell'inondazione con il solvente della colonna nella quale si trova già negli strati superiori, immobilizzato nell'assorbitore, un campione della sostanza da analizzare, viene detta di sviluppo: allorché del solvente attivo scorre lungo la colonna verso il basso, talune delle molecole delle sostanze presenti, si distaccano dall'assorbitore che le tratteneva, entrano in una soluzione, vera o fittizia e quindi scorrono verso il basso, dove

vi sono zone con sostanze in concentrazione assai minore; giunti in tali zone esse sono riassorbite. L'attività del solvente ad asportare le sostanze, come anche dell'assorbitore a trattenerle, variano in funzione della concentrazione della sostanza in analisi; per questo, una determinata sostanza può entrare in soluzione ed uscirne diverse volte nel corso del suo viaggio verso il basso, lungo la colonna nel tubetto. Dapprima le zone di colore sono strette ed affollate nei pressi della sommità della colonna; man mano che il trattamento di sviluppo progredisce, tutte le zone di colore avanzano verso il basso e tendono a dilatarsi ed a divenire più distintamente riconoscibili.

Un cromatogramma bene sviluppato presenta una serie di zone, distinte e nettamente separate che variano, di larghezza, in funzione della proporzione con cui le sostanze stesse sono contenute nella miscela analizzata.

Le sostanze così separate dalle altre simili, e purificate, possono essere estratte dalla sostanza assorbente in due maniere: o trattando con solvente tutte le successive zone sin verso al fondo oppure spingendo il cilindretto formatosi nell'interno del tubetto di vetro, con una bacchetta di adatta sezione, costringendo quindi detto cilindro, che nel frattempo avrà assunto una certa consistenza, a sfuggire dall'estremità opposta del tubo, separando con una lama di coltello le varie zone di colore presenti sul cilindretto, man mano che questo viene fuori dal tubo e quindi rimuovendo da tali zone le sostanze stesse, mediante adatto solvente. L'operazione dell'estrazione del cilindro avviene più agevolmente se, prima di estrarre il cilindretto, si ha l'avvertenza di curarne la disidratazione mediante aspirazione di aria attraverso di esso, creando questa aspirazione con l'aiuto di una pompa a caduta di acqua, collegata ad un rubinetto dell'impianto idrico casalingo.

Migliaia di diverse sostanze sono state esperimentate nella funzione di assorbenti ed altrettante nella funzione di solventi, nell'attuazione di questa tecnica; la scelta della combinazione più efficiente, caso per caso, rimane comunque un fatto sperimentale, dopo che le prove siano state condotte su molte combinazioni.

Diamo qui di seguito l'elencazione di una serie di sostanze assorbenti ed una di sostanze solventi più facili da reperire an-

che per i dilettanti: queste serie erano anzi state compilate da William T. Beaver, studente dell'Istituto di Princetown e vincitore di un premio per ricerche scientifiche, istituito dalla Westinghouse. Gli assorbenti sono elencati in un ordine approssimato di attività decrescente, mentre i solventi sono elencati in un ordine inverso.

ADSORBENTI	SOLVENTI
1) Allumina attivata	1) Etere di petrolio
2) Carbone di legno dolce	2) Tetracloruro di carbonio
3) Magnesia	3) Bisolfuro di carbonio
4) Gelo di silice	4) Etere
5) Calce spenta	5) Acetone
6) Carbonato di magnesio	6) Benzolo
7) Carbonato di calcio	7) Alcool metilico od etilico
8) Carbonato di sodio	8) Acqua
9) Talco	9) Acidi organici
10) Zucchero polverizzato	10) Soluzioni acquose di acidi e basi

Talvolta più di un solvente può venire usato al tempo stesso od anche in epoche successive. Per esempio, un piccolo quantitivo di benzolo può essere addizionato al meno attivo etere di petrolio, allo scopo di accelerare i fenomeni della soluzione ed accelerare, al tempo stesso, la formazione delle strisce o zone di colore.

Occorre una certa attenzione, comunque, per fare in modo che il solvente non sia troppo attivo per una determinata sostanza, dato che in questo caso tenderebbe ad asportare la sostanza stessa invece che aiutarne il semplice scorrimento verso il fondo del cilindro. Solo dopo che le varie parti corrispondenti alle varie zone di colore, nelle quali sarà stato tagliato il cilindretto, saranno effettivamente state separate, esse potranno subire, ciascuna, una estrazione con un adeguato solvente per asportare da esse le sostanze che ciascuna di loro avrà fissato, almeno nel caso delle zone principali; mentre alquanto problematico sarà il caso delle zone contenenti solamente tracce delle sostanze.

Il trattamento di estrazione delle sostanze dai singoli blocchi

dove queste si sono fissate, viene detto « eluizione » ed eluente viene detto il solvente singolo o la combinazione di più solventi che viene usata nel trattamento in questione.

La maggior parte dei solventi e degli assorbitori usati nelle ricerche di cromatografia sono sostanze economiche e talune di esse si trovano quasi in ogni casa e certamente in ogni laboratorio casalingo di esperimentazioni chimiche. Nondimeno, W. Beaver che ha elencato la citata serie di queste sostanze, raccomanda ai dilettanti di orientarsi verso prodotti analoghi acquistati nei negozi di materiali chimici, piuttosto che verso quelli casalinghi, dato che questi, assai spesso, lasciano molto a desiderare in fatto di purezza, al punto che le sostanze estranee presenti possono dare luogo ad indicazioni tali da falsare i rilevamenti eseguiti. D'altra parte, una volta soddisfatto a queste condizioni, del resto accettabilissime, in fatto di purezza degli ingredienti impiegati, la cromatografia è, come si è detto, una tecnica estremamente interessante per i risultati quanto accessibile a chiunque per la sua semplicità, comparabile in questo senso, alla cosidetta elementare « prova della lama di coltello », ben nota tra i dilettanti costruttori di telescopi e di strumenti analoghi.

« L'affermazione », dice Beaver, « secondo cui vi sono, nelle tecniche di cromatografia, poche norme fisse, è per lo meno infondata: nemmeno infatti i più specializzati professionisti del campo potrebbero prescrivere caso per caso, in partenza una procedura certa e rapida per avviare ed analizzare una colonna cromatica. Il campo, pertanto, è aperto a tutti quanti vi si dedichino, senza discriminazione di preparazione: perfino i dilettanti hanno buone probabilità di attuare qualche ricerca atta a dare un sostanziale contributo alla tecnica ».

La colonna di vetro nella quale si forma il cilindretto di sostanza assorbitrice può avere un diametro da pochi millimetri sino a parecchi centimetri, in funzione specialmente della grossezza della granulazione o della polverizzazione della sostanza che serve da assorbitore, della natura della sostanza sulla quale si suppone di dovere operare e che deve quindi essere assorbita, nonché dalla quantità del materiale in giuoco nelle ricerche, e di diversi altri fattori analoghi. Molti sperimentatori preferiscono usare tubi di vetro di diametro compreso tra i 20 ed i

25 millimetri; quanto alla lunghezza quella preferita è, di solito, quella di dieci volte la sezione del tubo stesso. Per la separazione di taluni isotopi presenti sotto forma di tracce minutissime sono stati usati comunque tubi di piccolissimo diametro e della lunghezza di 30 metri ed anche più. In genere, alla estremità inferiore, il tubo viene lavorato a caldo per ridurre alquanto la imboccatura ed in questa viene applicato a forza un tampone di cotone purissimo compresso, che serva da supporto per la sostanza assorbente e la trattenga se questa tende a scorrere verso il basso, pur non impedendo in alcun modo lo scorrimento verso il basso del solvente usato per l'analisi.

La difficoltà maggiore per chi esegua le operazioni per la prima volta, sta nell'assestamento, nell'interno del tubo, della sostanza assorbente la quale deve trovarsi, in tutti i punti del tubo stesso, nelle stesse condizioni di compattezza: mancando questa uniformità infatti, la propagazione del solvente lungo il tubo risulta irregolare e dà luogo a zone sovrapposte di colori, oltre che ad irregolarità nella forma delle stesse, per cui queste risultano di difficile interpretazione. Lo studioso Tswett citato all'inizio di questo capitolo come l'iniziatore di questa tecnica, provvedeva ad introdurre nel tubo il materiale assorbente polverizzato poco alla volta, dopo di che premeva attraverso l'imboccatura del tubo sulla sua superficie, per comprimerla uniformemente, sino a quando la colonna di assorbente non aveva raggiunto la giusta altezza.

L'esperienza successiva lo indusse a modificare il suo procedimento originario in diverse maniere. Dopo che uno strato di assorbente è stato introdotto nel tubo e quindi compresso, conviene incidere sino ad una profondità minima lo strato superficiale di esso per eliminarne la compattezza con una punta di ago o con altro utensile analogo: in tale modo, infatti, lo strato successivamente applicato sul primo potrà collegarsi con il primo con relativa facilità.

Un buon utensile per comprimere la polvere è rappresentato da un pezzo di tondino ben diritto in legno o plastica neutra, di diametro alquanto inferiore alla sezione interna del tubo di vetro, con la estremità tagliata ad angolo retto rispetto all'asse del tondino stesso. Vi sono poi taluni assorbenti che si assestano molto facilmente dando luogo a cilindri uniformi se i tubi, men-

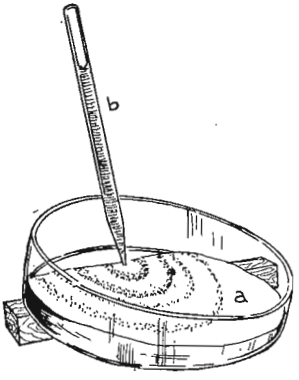
tre vengono lentamente riempiti, vengono percossi leggermente dall'esterno nella zona alla quale giunge via via all'interno il livello della polvere. Altri assorbenti ancora possono essere introdotti nel tubo sotto forma di una pasta o di una fanghiglia da una estremità, mentre alla estremità opposta, mediante una pompa normale od anche mediante una semplice pompa a caduta, viene creata nel tubo una certa depressione che favorisce per aspirazione l'entrata della sostanza nel tubo stesso. I ricercatori molto esperti di cromatografia, comunque, convengono che la preparazione di una colonna di assorbente avente una sufficiente uniformità è una impresa quasi artistica e come una vera arte, pertanto, il sistema migliore per attuarlo non può non derivare da una certa serie di prove.

Molti sperimentatori usano delle prove standard realizzate in precedenza come guida per la scelta dei solventi e degli assorbenti più adatti per la esecuzione di lavori particolari. Uno dei metodi più diffusi consiste nel versare, in un piattino, il quantitativo di polvere assorbente contenuta in un cucchiaino da thè, scuotendo quindi il contenitore in modo da portare la polvere alla forma di uno strato di spessore decrescente come appare illustrato nella fig. 59. In casi come questi, la sostanza da analizzare viene disciolta in un solvente piuttosto debole, versando poche gocce di questo sul bordo, a spessore praticamente nullo, della estremità dello strato, usando per l'applicazione una micropipetta; indi sulla macchia così prodottasi vengono provati via via altri solventi o combinazione di questi, sino ad ottenere delle attività via via maggiori.

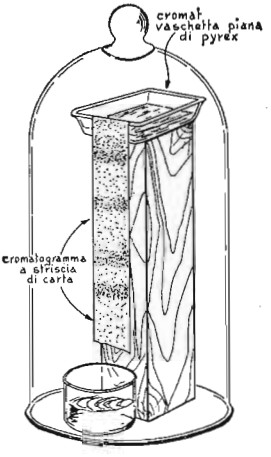
I dilettanti che si avventurano in questo campo di ricerca passeranno anche certamente presto o tardi alla tecnica della cromatografia su striscia di carta, che riesce a rendere ancora più semplici tutti i procedimenti ed i sistemi di ricerca e di interpetrazione. La colonna assorbente viene, in questo caso, rappresentata da una striscia di carta sistemata in una campana di vetro, allo scopo di creare attorno ad essa un'atmosfera satura di umidità, così da prevenire l'evaporazione di acqua dalla superficie della carta, che potrebbe dar luogo a diversi inconvenienti specie per un irregolare scorrimento dei solventi. La carta viene inumidita con il solvente che si intende usare e quindi, alla estremità superiore del ritaglio, si applica una piccola goccia

della soluzione da analizzare. A questo punto la striscia di carta viene piegata ad una delle estremità e quindi immersa con la parte piegata, per 1 o 2 millimetri in un piccolo recipiente aperto contenente lo stesso solvente del quale la striscia era stata inumidita. Ben presto il solvente, non manca di scorrere lungo la carta, sino a cadere dalla parte opposta, ossia in quella libera e sospesa semplicemente al disopra di un recipiente di raccolta; nello scorrere, il solvente trascina con sé anche parte della sostanza chimica o delle sostanze contenute nella goccia applicatavi.

Quando l'operazione di « sviluppo » si è protratta sino ad un punto tale per cui la zona più bassa di colore si sia spinta sino quasi al fondo della striscia di carta, quest'ultima viene tolta dalla disposizione nella quale si trovava all'inizio e viene ruotata di un quarto di giro, in modo che il suo lato maggiore si venga a trovare orizzontale; il bordo inferiore di questo viene quindi immerso nella vaschetta, così che la operazione possa essere continuata. In questa maniera verrà a formarsi da ciascuna banda una successione di bande adiacenti, ciascuna delle quali corrisponderà ad uno degli elementi delle sostanze presenti in quella zona che dapprima sembrava singola. In queste condizioni non sarà difficile ottenere un cromatogramma tanto lungo quanto lo è la stessa striscia di carta e nel quale pertanto saranno visibili le sostanze presenti anche sotto forma di piccole tracce; nella fig. 60, è illustrata la disposizione che si viene a formare nel corso dell'esperienza.



59. Metodo consigliabile per la prova di sostanze solventi ed assorbenti.



60. Disposizione per esecuzione di cromatografia con striscia di carta; la campana di vetro serve a ridurre la rapidità dell'evaporazione.

Tswett paragonava le zone di colore che si ottenevano nella colonna di sostanza assorbente e quelle nella striscia di carta ai raggi di luce colorata emessi da un prisma di diffrazione. Forse il cromatogramma a due dimensioni che si viene a formare sulla striscia di carta trattata nella maniera sopra descritta spinge ulteriormente la similitudine, al punto di fare pensare come ciascuno dei colori sviluppati nel primo passaggio si possa ulteriormente differenziare in altri componenti, come avviene nel secondo passaggio, con una risoluzione ulteriormente accentuata, come la differenziazione che si ottiene quando un raggio di luce monocromatica, dello spettro prodotto da un prisma ottico, viene presentata ad un altro prisma che provvede ad allargare la zona da esso coperta ed a mettere in evidenza le eventuali tracce di colore prossimo, che vi siano alle due estremità. Il metodo della colonna e quello della striscia di carta possono considerarsi complementari, in quanto conviene usare il primo per una ricerca di carattere quantitativo, per conoscere la quantità delle varie sostanze presenti, mentre si può adottare il secondo metodo, ossia quello della striscia di carta, per identificare le sostanze anche se presenti in piccolissime proporzioni ed in miscele molto complesse.

Come Tswett aveva previsto, il metodo cromatografico permette di separare e mettere in evidenza non solo le frazioni delle

sostanze presenti, aventi un colore proprio, ma anche quelle che siano invece incolore. Negli ultimi anni, anzi sono state condotte molte ricerche appunto in relazione ad analisi di cromatografia senza colori; sono anzi state sviluppate diverse tecniche per rendere visibili queste sostanze: la presenza di amminoacidi, ad esempio, è stata visualizzata spruzzando sul cilindro del cromatogramma a colonna o sulla carte del cromatogramma a striscia, della minidrina, sostanza questa che tende a virare il colore di queste sostanze, di solito incolore, ad un porpora profondo. Altre sostanze possono invece essere evidenziate mediante illuminazione di esse con raggi ultravioletti o con luce nera, sotto i quali esse tendono a produrre, a loro volta, una luminescenza indotta, di colore determinato. Se ad esempio una goccia di comune inchiostro blu-nero viene depositata su di una striscia di carta per cromatogramma e poi si provvede allo sviluppo di essa, con alcool, si ha la formazione da questa di una certa serie di zone di colore bluastro, corrispondenti al contenuto di composti di ferro, e di sostanze coloranti che si separano scorrendo lungo la striscia. Quando però una striscia così ottenuta viene esposta, dopo essiccata, alla luce ultravioletta, ha luogo lo sviluppo di un notevole numero di altre zone di colore nella gamma del verde, dell'arancione e del rosso. Con un secondo cromatogramma dello stesso tipo nel quale sia usata una sostanza nota è quindi possibile indagare sulle sostanze in esame, ignote o che appena si sospettino presenti nel primo cromatogramma, operando con il sistema del confronto, specialmente studiando la posizione delle rispettive righe dello stesso colore. In una colonna cromatografica, le frazioni corrispondenti a sostanze incolore possono anche essere rilevate per mezzo dell'assorbimento della luce che viene messa in condizione di attraversarle, od anche in virtù dell'effetto di polarizzazione o di semplice rotazione del piano della polarizzazione stessa esercitata sulla luce dalla zona in esame. Di recente, talune sostanze sono state rese riconoscibili anche sotto forma di tracce minime, mediante l'aggiunta di isotopi radiattivi e quindi ricercate con l'aiuto della dosimetria; ciò si può attuare con semplici lastre fotografiche la cui emulsione, come è noto, tende ad annerire in presenza delle radiazioni subatomiche. Va comunque detto che tutte le tecniche di questo genere comportano un'attrezza-

tura ed una specializzazione che sono al di fuori della portata delle possibilità del dilettante medio.

L'esperimento dell'estrazione delle clorofille, delle xantofille, del carotene, dalle foglie degli spinaci può servire come spettacolare introduzione alle tecniche della cromatografia. La seguente esperienza, suggerita da Beaver dovrebbe essere condotta in un ambiente bene ventilato e non frequentato, per il fatto che nel corso della sua attuazione ha luogo lo svolgimento di vapori di solventi assai volatili e facilmente infiammabili, in più, i vapori di una delle sostanze usate, vale a dire l'alcool di legno o metilico, sono velenosi.

In tubi del diametro di una diecina di millimetri e lunghi 300 millimetri, leggermente svasati ad una estremità per facilitarne il riempimento ed assottigliati alla estremità opposta mediante trattamento alla fiamma, si comincia con l'introdurre la sostanza assorbente che per questo speciale esperimento è rappresentata dall'allumina Merk standardizzata secondo Brockmann, con grossezza della grana tale da corrispondere al setaccio n. 80 sino alla grana del setaccio n. 200. È bene che la sostanza sia compressa nell'interno del tubo, progressivamente, ossia man mano che di essa siano stati introdotti nel tubo stesso dei piccoli quantitativi.

L'aggiunta di un sistema di aspirazione del liquido dalla estremità inferiore del tubo ha il potere di accelerare e rendere più efficiente lo sviluppo della sostanza analizzata. In fig. 61 è appunto lo schizzo della disposizione suggerita da Roger Hayward per l'utilizzazione di un sistema di questo genere, con l'aiuto di un recipiente di maggiori dimensioni nel quale viene fatto il vuoto mediante aspirazione dell'aria attraverso la condotta laterale e che, a sua volta, contiene una provetta di diametro maggiore della estremità inferiore del tubo dove si trova la colonna; in questo modo è possibile esercitare una sufficiente aspirazione dalla estremità inferiore del tubo pur avendo la possibilità di raccogliere quella quantità di liquido solvente, che dopo avere attraversato verso il basso l'intera colonna, lasci questa per cadere fuori dal tubo. Un'altra disposizione, analoga alla precedente, a parte il fatto che si tratta della sezione alta dell'apparecchiatura, è illustrata nella fig. 62.

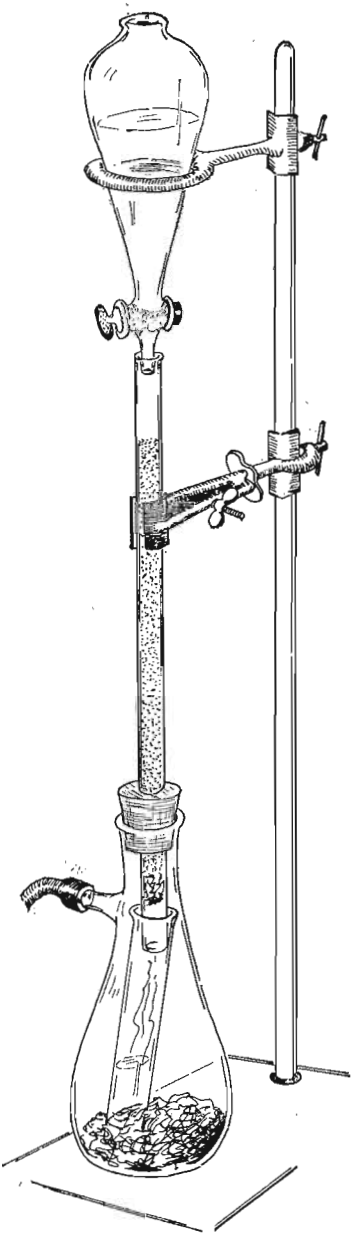
Per l'esperimento si comincia con il mantenere in infusione

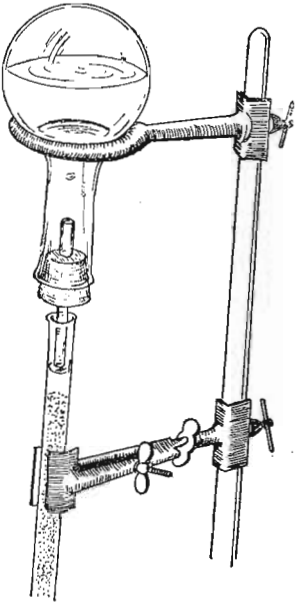
a freddo 10 grammi di foglie essiccate di spinaci, in 0,1 litri di alcool metilico, e si fa durare questo trattamento per 24 ore; si provvede poi al filtraggio del materiale ed il residuo si lava con un altro quantitativo di 0,05 litri dello stesso alcool. Ciò che rimane viene mescolato poi in un recipiente con 0,05 litri di etere di petrolio a cui dopo agitazione si aggiunge 0,1 litri di acqua distillata. La miscela viene quindi introdotta in un imbuto separatore; dopo che abbia avuto inizio un'effettiva selezione delle sostanze, si elimina lo strato inferiore composto da acqua ed alcool, mentre si ricupera e si filtra lo strato superiore in cui il veicolo è rappresentato dall'etere di petrolio e che contiene l'estratto.

A questo punto si tratta di introdurre metà della quantità dell'estratto in questione, nella parte superiore del tubo del cromatogramma, quindi nel tubo stesso si introduce del benzolo purissimo che provveda alla funzione di solvente per lo sviluppo. La prima frazione della miscela che tende a scorrere verso il basso è una zona relativamente ristretta, di colore giallo aranciato, contenente il carotene presente nella miscela dell'estratto; essa viene seguita da due strisce molto più larghe, rispettivamente rosa e gialla, prodotte dalla xantofilla: sono appunto queste le sostanze dalle quali gli alberi assumono il loro colore al sopraggiungere dell'autunno, quando cioè la sostanza che dà luogo alla colorazione verde, ossia la clorofilla, viene distrutta. Questi pigmenti, separati uno dall'altro, possono essere raccolti all'estremità inferiore della colonna o della striscia del cromatogramma, dove scorrono per l'azione del solvente e possono essere portati a perfetta essiccazione.

I due gruppi principali, ossia i caroteni e le xantofille possono essere ulteriormente differenziati nei singoli componenti, dissolvendoli in pochi millilitri di etere di petrolio, indi facendoli passare attraverso una nuova colonna o striscia cromatografica ed infine sviluppandoli con una miscela di etere di petrolio o benzolo, o per una ulteriore efficace eluizione, con semplice benzolo puro.

Nella colonna cromatografica, le clorofille danno luogo alla formazione di una banda di colore verde scuro; i pigmenti sono asportati con 5 millilitri di alcool di legno o metilico, dopo di che la soluzione viene filtrata. Le sostanze raccolte a





62. Disposizione per cromatografia a colonna, con caduta delle sostanze a mezzo di semplice gravità.

61. Disposizione per cromatografia a colonna, con linea di aspirazione.

seguito di questa operazione sono introdotte in un imbuto di separazione, con 5 millilitri di etere di petrolio a cui si aggiungono 5 millilitri di acqua. L'etere di petrolio estrae dal composto le clorofille presenti, mentre l'acqua e l'alcool formano uno strato separato che può essere gettato via. A questo punto l'etere di petrolio può essere lavato a fondo mediante agitazione con piccole quantità di acqua distillata ed essere quindi fatto scorrere verso il basso in una colonna cromatografica formata questa volta di zucchero polverizzato e bene pressato, il che è possibile solamente quando l'etere di petrolio e la sostanza separata formano in partenza una mescolanza abbastanza scorrevole.

Anche allo sviluppo dello strato depositato nella parte più alta della colonna si provvede con l'etere di petrolio, al che le clorofille tendono a differenziarsi in due forme, dando infatti luogo ad una zona con tonalità giallo scura verde, corrispondente alla clorofilla del tipo beta, situata più in alto e ad una zona più in basso, di colore verde bluastro, corrispondente alla traccia della clorofilla tipo alfa. A causa del ruolo essenziale da essa giuocato nella funzione della foto-sintesi, la clorofilla è divenuta una sostanza di estremo interesse per la fantasia popolare; comunque molti ricercatori di cromatografia trovano le sostanze a base di carotene altrettanto interessanti: a differenza delle clorofille infatti, che operano come veri e propri catalizzatori nelle reazioni della sintesi dell'anidride carbonica, dell'acqua e della energia solare per la produzione degli idrati di carbonio, i caroteni adempiono una vera e propria funzione chimica diretta, sia nelle piante come anche negli animali. Essi appaiono tra l'altro elementi essenziali per la produzione, da parte dell'organismo, della vitamina A ed hanno parte anche nel meccanismo della vista come in quello delle funzioni sessuali. Il nome della sostanza ribadisce come essa sia estratta dalle carote.

Per estrarre il carotene si comincia con il macinare cinque grammi di carote essiccate, operando in un mortaio pulitissimo sino a ridurle in polvere e quindi a quest'ultima si aggiungono 50 millilitri di una miscela formata da parti uguali di alcool metilico ed etere di petrolio. Si agita vigorosamente la miscela dopo di che ad essa si aggiungono 5 millilitri di acqua distillata e si versa il tutto in un imbuto separatore. I caroteni,

più gli esteri della xantofilla, sono concentrati nello strato di etere di petrolio che costituisce la parte più alta della colonna. Si separa quindi questo strato e lo si concentra, evaporandone una parte del liquido che contiene, in un ambiente privo di tracce di polvere e sino a che il quantitativo rimanente risulti di soli 20 millilitri.

A questo si aggiungono quindi 3 millilitri di una soluzione in alcool metilico di idrossido di sodio, alla percentuale del 5% di questa sostanza, al che si determina la saponificazione degli esteri di xantofilla, in modo che questi possano essere asportati mediante un semplice trattamento con acqua distillata.

Si provvede quindi al lavaggio ripetuto della miscela con una soluzione di alcool metilico in acqua distillata, con il 15% di questa ultima sostanza. Un ulteriore ripetuto lavaggio, in sola acqua distillata, serve poi alla eliminazione delle tracce anche minime di alcool metilico.

A questo punto si consente all'etere del petrolio di separarsi dall'acqua e si provvede al filtraggio. La soluzione gialla aranciata che ne rimane contiene il complesso delle sostanze carotenidi. Per separarle, si fa scorrere metà del quantitativo della sostanza disponibile attraverso una colonna di allumina e si provvede allo sviluppo dello strato depositato, con una miscela di 3 parti di etere di petrolio ed una di benzolo. Si otterranno in questo modo tre zone di colore ben definite contenenti, dall'alto verso il basso, il gamma carotene, il beta carotene e l'alfa carotene. I vari pigmenti presenti potranno anche essere messi in evidenza, inondando successivamente la colonna od estraendoli dalle zone separate della colonna stessa, una volta estratta questa dal tubo e provvedendo all'estrazione stessa, per mezzo di alcool metilico.

La cromatografia è un metodo di separazione per tracce di sostanze, di una capacità ed efficienza assai maggiore di qualsiasi tecnica tradizionale chimica di distillazione, precipitazione con reagenti, cristallizzazione; esso è anche un metodo di grande semplicità, alla portata dei dilettanti.

6

ELETTROFORESI DI ZONA

Quando la soluzione di un composto chimico viene applicata ad una striscia di carta porosa, che sia inserita in un campo elettrico, ogni composto trasmigra lungo il campo elettrico sotto un regime ed una direzione che sono determinate dalla loro carica caratteristica. Anche i dilettanti possono mettere a profitto questo fenomeno per analizzare sostanze chimiche in proporzioni minime. Viene qui descritta la costruzione e l'impiego di un semplice apparato adatto a questa funzione.

Negli ultimi anni, i biochimici e gli altri studiosi del ramo, hanno acquisito un nuovo e potente strumento per operare la separazione di sostanze intimamente combinate. Il termine « elettroforesi » significa trasporto per via elettrica: in senso lato lo spostamento delle palline di sughero od altro materiale leggero quanto queste siano sottoposte ad un campo elettrico può considerarsi appunto un effetto elettroforetico; lo stesso si può dire del procedimento Cottrell per l'eliminazione delle particelle di fuliggine di scarico dei camini, quando i gas stessi vengono fatti passare attraverso elettrodi sottoposti a forti differenze di potenziali. Una volta che le particelle abbiano assunto una carica dal contatto o dalla semplice vicinanza con uno degli elettrodi, esse risultano attratte dall'altro elettrodo per cui si raccolgono e vanno a cadere nella vasca appositamente prevista. Un altro esempio di questo fenomeno generale è rappresentato dall'aderenza delle particelle di gomma che precipitano dalla soluzione colloidale di questa su elettrodi di speciale forma, sottoposti ad una carica elettrica, secondo una tecnica particolarmente diffusa per la produzione dei guanti di gomma e di altri articoli di gomma e di altra sostanza analoga.

L'elettroforesi è però anche lo speciale nome che viene attribuito alla tecnica del frazionamento delle miscele molecolari. Grande parte delle sospensioni di molecole in acqua subiscono una polarizzazione per cui sono in grado di condurre della corrente. Anche delle molecole che di norma non sono in grado di condurre corrente, né di assumere una carica, presentano la tendenza ad assorbire degli ioni dall'acqua. Talune molecole riescono ad assumere una carica maggiore di altre in funzione della loro natura chimica e della concentrazione degli ioni presenti nella soluzione.

Se la concentrazione ionica, ossia il cosiddetto pH, è regolata opportunamente, tutte le molecole che risultino in una qualche stretta correlazione chimica presentano la tendenza ad assorbire cariche elettriche dello stesso segno. Per conseguenza, quando esse sono sottoposte ad un campo elettrico, tendono a migrare nella stessa direzione sebbene in quantità variabili, in funzione del livello della carica di ciascuno dei membri della famiglia. Molti dilettanti osservatori al microscopio hanno osservato tali migrazioni in una scala abbastanza elevata addirittura sulle cellule del sangue e sui protozoi. Se una differenza di potenziale viene applicata ad una goccia di liquido contenente delle cellule in sospensione, le cellule stesse, tendono a migrare, in direzione di uno o dell'altro degli elettrodi sottoposti a cui il campo elettrico viene applicato. Alexander Reuss allievo preferito di Michael Faraday descrisse per la prima volta l'esperimento ben 148 anni addietro.

Per analizzare delle miscele di molecole varie, il chimico svedese Arne Tiselius riuscì a mettere a segno un sistema radicalmente diverso: egli infatti versava il materiale o la sostanza da analizzare, nel fondo di un tubo piegato ad « U » e quindi versava da entrambi i bracci del tubo stesso, rivolti verso l'alto ed aperti, una soluzione che servisse da veicolo per la tensione di eccitazione del sistema. Nel versare questa soluzione veniva dedicata una particolare cura, in modo che la zona di contatto tra la sostanza da esaminare e la soluzione presente in ciascuno dei bracci fosse quanto più netta e ristretta possibile. Quando in queste condizioni, veniva fatta scorrere una corrente elettrica attraverso le zone del sistema, alcuni degli elementi della miscela migravano verso l'uno degli elettrodi,

mentre alcuni altri migravano in direzione dell'altro. In particolare si notava che le varie sostanze si spostavano ad una velocità ed in condizioni caratteristiche; i confini tra le zone di liquido, nelle quali si accumulavano le varie sostanze, venivano resi visibili in virtù di un particolare adattamento della tecnica ottica « schlieren », ideata da Léon Foucault per provare la figura degli specchi parabolici e delle lenti.

Nel suo concetto basico, la tecnica di Tiselius per questa specie di « elettroforesi libera » è molto semplice, come del resto lo è quella sua cui si fonda la macchina per dividere, usata per il tracciamento delle righe parallele dei reticoli di diffrazione: comunque, le cose variano molto quando un dilettante si prova a mettere insieme l'apparato e tenta di farlo funzionare. È questo, pertanto, un campo nel quale forse difficilmente il dilettante potrebbe competere ad armi pari con il professionista, il quale ha certamente a disposizione una maggiore dovizia di mezzi e specialmente di apparecchiature di precisione.

Esiste comunque un procedimento meno preciso, eppure molto efficiente per l'esecuzione di analisi mediante elettroforesi di zona che ha trovato ampia applicazione in circa dieci anni di ricerca; la seguente descrizione è stata resa possibile dalla collaborazione concessa da H. G. Kunkle, dell'istituto Rockfeller. Nel procedimento a zona le particelle di sostanza, invece che lungo il tubo ad « U », si muovono in seno ad un liquido immobilizzato negli spazi compresi in un solido finemente suddiviso. Molecole di sostanze simili, ma non identiche, tendono pertanto a migrare verso zone distinte nelle quali si fermano e possono essere facilmente identificate e ricuperate come prodotti purificati. Molti tipi di sostanze porose possono servire alla funzione sopra citata: un materiale usato sovente è certo la carta bibula: ne deriva che per questo aspetto l'elettroforesi presenta una certa rassomiglianza, nei risultati, con la separazione cromatografica delle sostanze. Nel caso del processo elettroforetico, però, la separazione avviene non già per le ben note proprietà di solubilità ed assorbilità delle sostanze, ma piuttosto dalla quantità di carica elettrica e del segno di questa, trasportabile dalle molecole della sostanza in analisi.

L'entità ed il segno della carica assunta dalle varie sostanze in soluzione od in sospensione, dipende dalla natura chimica

delle sostanze stesse, e dal pH, ossia dall'equilibrio di acidità ed alcalinità presentato dalla sostanza che serve da solvente. Le molecole di sostanze in grado di trasportare di norma una leggera carica elettrica, come ad esempio, le proteine a reazione leggermente basica, sono molto sensibili alla variazione del pH stesso. Una piccola variazione nella basicità o nell'acidità della soluzione può indurre una sensibile variazione nel regime con cui le particelle trasmigrano e può anzi dare perfino luogo alla inversione della loro direzione di spostamento. Per attuare la tecnica, pertanto, si tratta di scegliere degli elettroliti, ossia sorgenti di ioni che presentino un'azione di « tamponamento », ossia che tendano a fornire quantitativi di ioni negativi e positivi, ad un regime di produzione in grado di sostituire con esattezza quelli che vengono via via rimossi o dissipati dalla soluzione stessa. Molti sali comuni presentano una efficiente attività di « tamponamento », per quanto il cloruro di sodio o sale da cucina, non si presti molto.

Quando si vorrà dedicare qualche esperimento alle tecniche dell'elettroforesi, o si vorrà appena tentarle per controllarne i princìpi, come anche per metterle in atto, come vero e proprio mezzo di analisi, esse non appariranno così semplici come lo erano in teoria; infatti, eccettuata la chimica delle proteine, in tutte le altre sezioni sarà necessario provvedere allo studio ed alla messa a punto delle soluzioni tampone, degli elettroliti, dei supporti porosi solidi ed, in seguito, sarà sempre necessario stabilire con esattezza quali tensioni e quali correnti saranno meglio adatte per lo svolgimento di ciascuno degli esperimenti e delle analisi. Nonostante tutto poi, anche dopo questi approcci, il vasto campo delle elettroforesi sarà stato appena avvicinato od al più inciso in superficie, per cui conserverà, ancora in abbondanza, degli aspetti nuovi da esperimentare e da scoprire.

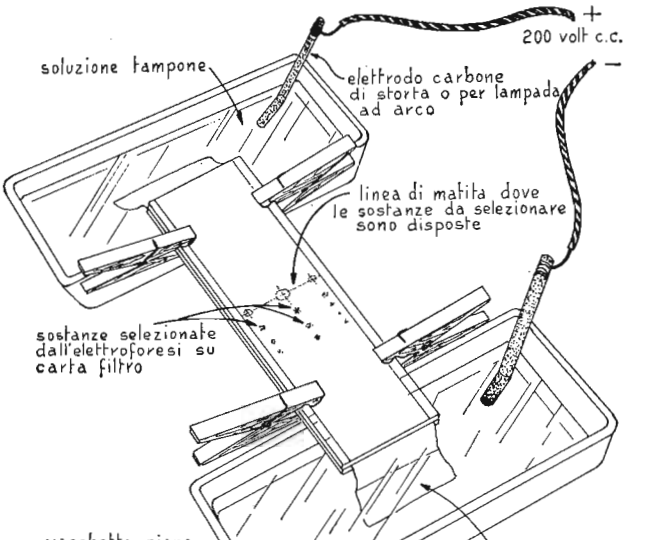
Nella fig. 63 è illustrata un'apparecchiatura sperimentale che si consiglia di realizzare per l'esecuzione delle prime prove, per l'attuazione di alcune almeno delle tecniche di elettroforesi di zona con l'impiego di una striscia di carta assorbente nella funzione di supporto solido poroso: l'intero lavoro per l'allestimento dell'insieme non dura più di un paio di ore. Le estremità della striscia di carta si immergono in due vaschette terminali contenenti la soluzione elettrolitica nella quale sono immersi i

due elettrodi di carbone la cui funzione è quella di trasportare nel sistema la tensione continua di alimentazione e di eccitazione.

Per ritardare la velocità di evaporazione del liquido della estesa superficie della carta, quest'ultima viene fatta passare nello spazio compreso tra due pannellini di vetro, sovrapposti. Questi delle dimensioni di 5×20 centimetri e dello spessore di 0,5 centimetri, possono essere di pyrex ed è bene che le costole e gli spigoli di questi siano smussati passandovi sopra una pietra abrasiva leggermente inumidita di olio. Allo scopo di mantenere uniforme il fenomeno della migrazione lungo la striscia, è utile mantenere questa sotto una pressione praticamente costante in tutti i suoi punti, dal che si può ottenere anche una più regolare distribuzione, sulla zona, delle varie sostanze trasportate per effetto elettroforetico. Una certa pressione inoltre ha anche il merito di ridurre la quantità di acqua presente lungo la zona, dal che deriva una ulteriore uniformità della distribuzione dei vari elementi della sostanza analizzata. Bisogna comunque dire che se tale pressione è troppo elevata tende a determinare delle leggere torsioni nelle lastre di vetro, anche se queste hanno un considerevole spessore ed a distorcere, analogamente, le zone di distribuzione.

Taluni sperimentatori hanno tentato di risolvere i problemi citati operando con pannelli di vetro dello spessore di 25 ed anche più millimetri. In tale caso, la piastra inferiore viene posata su di un supporto abbastanza resistente, e quindi al disopra di questa viene depositata la lastra superiore; altri fanno sostenere semplicemente la striscia tra le due bacchette di vetro nella funzione quasi di un peso. Il complesso viene quindi coperto con una coppa di vetro o di plastica trasparente ed innocua (ottima anche una insalatiera di polistirolo, e viene fatto funzionare di preferenza in un ambiente dove esista un'atmosfera satura della soluzione usata come tampone per l'elettroforesi di zona. Quest'ultimo procedimento ha lo svantaggio del fatto che la sostanza tampone tende a gravitare in direzione della parte più bassa della striscia con una conseguente distorsione del grafico di separazione della sostanza analizzata.

Qualche altra distorsione viene anche introdotta dalla presenza di effetti di capillarità che si determinano tra le superfici



63. Semplice disposizione per esecuzione di esperimenti sull'elettroforesi di zona.

di vetro e quelle della carta. Questo inconveniente viene però minimizzato coprendo le superfici del vetro con uno strato sottile di grasso. La vasellina può funzionare in questa utilizzazione, ma non altrettanto bene come il grasso a base di silicone che viene usato per lubrificare i collegamenti a tenuta nelle apparecchiature chimiche.

Contenitori di qualsiasi forma e misura, purché di preferenza bassi, con apertura larga, possono essere usati per accogliere il liquido che rappresenta la soluzione tampone. Ottime a questo proposito sono le vaschette di pyrex. In ogni caso, le tre condizioni alle quali i contenitori debbono soddisfare sono: che essi presentino una assoluta inerzia chimica alle sostanze della soluzione tampone come anche a quelle della sostanza da analizzare ed inoltre la presenza del contenitore non deve in alcun

modo disturbare la migrazione delle particelle in analisi, come invece potrebbe accadere nel caso che i contenitori fossero in metallo o di un'altra sostanza conduttrice; una condizione pratica alla quale poi essi debbono rispondere è quella di risultare abbastanza pesanti da potere sostenere, anche se vuoti, il peso che viene a gravare, sul loro bordo da parte dell'insieme sul quale avviene il fenomeno della elettroforesi, vale a dire le strisce di vetro, quella di carta e le eventuali pinzette usate per tenere serrate tra di loro le lastrine di vetro.

L'inerzia chimica deve essere un elemento da tenere in grande importanza anche quando si tratta di provvedere alla scelta dei vari elettrodi che vengono usati per portare la corrente di alimentazione del sistema di elettroforesi. Molti professionisti usano elettrodi di platino mentre anche elettrodi di carbone di storta, purché purissimo e ben sinterizzato, possono andare abbastanza bene: sono però da evitare assolutamente le bacchette di carbone con anima che sono usate come elettrodi per le lampade ad arco per cinema, in quanto nell'interno di esse si trova una massa di sostanze destinate ad aumentare la produzione di luce bianca che, semplicemente agglomerate e non sinterizzate, tendono a sgretolarsi sotto la tensione presente e sotto le condizioni chimiche che si possono manifestare, per cui potrebbero per lo meno disperdersi nella soluzione tampone, se non addirittura entrare in soluzione ed in combinazione nella sostanza liquida. Assai meglio di queste bacchette sono certamente i semplici cilindretti di carbone di storta che rappresentano gli elettrodi positivi delle pile a secco convenzionali.

La corrente continua richiesta per l'esecuzione della ricerca varia in funzione della sostanza che si deve analizzare: un alimentatore raddrizzatore in grado di erogare una tensione tra 50 e 300 volt con un'erogazione di 20 milliampère può essere sufficiente alla maggior parte dei lavori. Un buon complesso adatto a questa funzione può essere ricavato da qualsiasi vecchio apparecchio radio; è infatti noto che nell'interno delle radio a valvole a corrente alternata esiste un complesso di raddrizzamento per la produzione della tensione continua richiesta come anodica dalle valvole: questa soluzione ha anche il vantaggio che la corrente erogata dal sistema è un'alternata perfettamente raddrizzata e livellata sin quasi ad essere comparabile

con una vera e propria corrente continua prodotta da una batteria a pile.

Nello schema della fig. 64 viene appunto illustrata la sezione alimentatrice di un apparecchio radio, riportata su di un telaietto separato; niente comunque impedisce che il complesso sia lasciato sullo chassis originale della radio, dal quale siano magari stati tolti tutti gli altri organi. In ogni caso è necessario applicare tra i due capi dove è presente la tensione massima continua disponibile un potenziometro od una resistenza a cursore, nella funzione del divisore di tensione necessario per rendere disponibile dall'alimentatore, in grado di fornire solo la tensione massima, anche tutta una gamma di tensioni intermedie, dalla massima sin quasi allo zero. Va detto che la resistenza od il potenziometro, risultando sempre collegati tra i capi della tensione massima, assorbono essi stessi della corrente che viene quindi ad essere defalcata dalla massima disponibile; inoltre, appunto per la non trascurabile potenza assorbita da questo sistema partitore di tensione, occorre che la resistenza od il potenziometro che vi sono interessati siano del tipo a filo, in grado di dissipare una energia di 10 watt.

Assieme alla tensione continua erogata, è utile avere a disposizione anche un dispositivo che fornisca una indicazione saltuaria o continua della tensione presente, allo scopo di potere mantenere il voltaggio costante ove si verifichino delle variazioni di carico in funzione della variazione dello stato elettrolitico della soluzione; un voltmetro in continua va applicato tra i due capi dove è presente la tensione massima ed un milliamperometro in serie su uno dei capi stessi, con la corretta polarità.

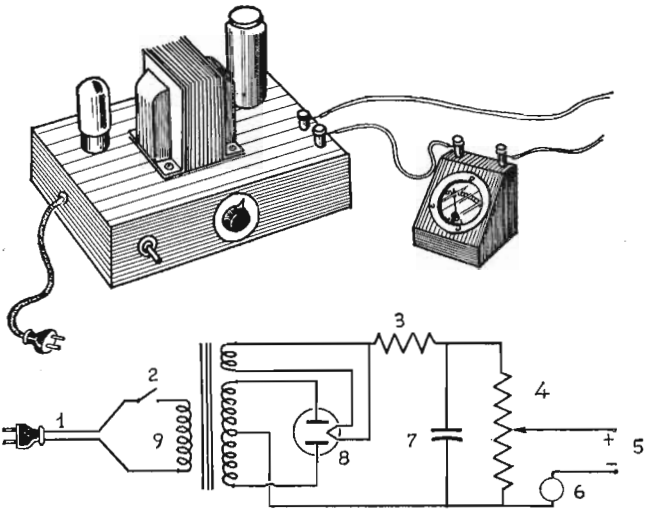
Esistono in commercio, specialmente presso le ditte di apparecchi scientifici, degli alimentatori appositi, realizzati con particolari caratteristiche con dispositivi per la stabilizzazione automatica e semiautomatica della corrente erogata; ad ogni modo una tale soluzione non è indispensabile e la spesa che un acquisto di tale complesso comporta può essere evitata. In ogni caso, durante l'impiego di apparecchiature di questo genere, occorre dedicare una notevole attenzione allo scopo di evitare qualche scossa che risulterebbe pericolosa appunto per il non trascurabile voltaggio presente.

I fenomeni interessati alle tecniche dell'elettroforesi di zona possono essere dimostrati con la maggior parte dei tipi di carta non caricata: ottime ad esempio, strisce di carta assorbente bianca, di tovagliolini di carta e di cellulosa; in ogni caso, occorre che si tratti di carta non collata e senza scrittura e stampe. Ad ogni modo ove si vogliano ottenere dei grafici di analisi, ben distinti e riproducibili, occorrerà fare uso di una carta speciale, di uniforme composizione ed esente da contaminazioni estranee: una qualità di carta adatta a queste ricerche ed usatissima è la 3MM della Whatman, che viene messa in vendita di solito in rotoli di notevole lunghezza.

La separazione delle sostanze coloranti artificiali che sono usate appunto per migliorare l'aspetto dei vini inferiori e di quelli artificiali può essere una interessante esperienza di ricerca, adatta a quanti facciano tali ricerche per la prima volta. Una miscela sperimentale in questo senso può essere preparata aggiungendo pochissime gocce di un colorante alimentare ad un certo quantitativo di spuma o di bevanda simile. Come elettrolita, conviene usare una debole soluzione di sale comune per cucina, con l'aggiunta di un piccolo quantitativo di bicarbonato di sodio, nella funzione di sostanza tampone. In avvenire sarà possibile sperimentare su altre sostanze che, oltre ad adempiere alla funzione di elettrolita, presentino la capacità di servire da tampone.

I coloranti per uso alimentare tendono a migrare in un campo elettrico di un volt per millimetro di distanza sotto una corrente di una diecina di milliampère, occupando delle zone in una gradevole disposizione: dalle condizioni nelle quali avviene l'operazione, dal punto di vista elettrico, la carta inumidita dovrebbe presentare una resistenza chimica di circa 1000 ohm, per ogni centimetro di lunghezza.

Per ottenere questi valori di resistenza, potrà essere necessario sperimentare su elettrolita preso in varie proporzioni di diluizione. Si comincia pertanto a versare nelle vaschette di pirex un quantitativo di acqua sufficiente per portare il livello del liquido a 10 o 15 millimetri dall'orlo dei recipienti stessi; poi si versa questa quantità di acqua in un unico recipiente di vetro e ad essa si aggiunge un cucchiaino raso di sale da cucina. Quando questa sostanza si sia perfettamente dissolta, si im-



64. *In alto,* disposizione pratica delle parti per l'alimentatore del complesso per elettroforesi di zona. *In basso,* schema elettrico dell'alimentatore stesso. Elenco parti: 1 - dalla tensione alternata di rete. 2 - interruttore generale. 3 - resistenza a filo da 20.000 ohm, 10 watt. 4 - potenziometro a filo da 40.000 ohm 10 watt. 5 - uscita tensione continua sino a 200 volt. 6 - milliamperometro a bobina mobile, 100 mA. f. s. 7 - condensatore elettrolitico da 16 mF, 450 volt. 8 - valvola raddrizzatrice tipo '80. 9 - trasformatore alimentazione 275+275 volt. 50 mA, primario universale ed avvolgimenti per filamenti.

merge nella soluzione ottenuta la striscia di carta destinata a servire da campo per l'elettroforesi. Subito dopo si toglie la striscia di carta, se ne elimina l'umidità in eccesso, inserendola per pochi secondi tra due fogli di carta assorbente pulita e di sufficiente grandezza ed infine la si inserisce tra le due piastrine di vetro, curando che una uguale porzione di essa, sporga da ciascuna delle estremità e possa quindi andare a pescare nel liquido. Si serrano infine, in un tutto unico, le due piastrine di vetro applicando in prossimità dei quattro angoli delle pinzette di plastica per bucato (vedi fig. 63).

Si versa allora la soluzione salina, in parti uguali, nei due contenitori, si applica sull'orlo di questi la striscia di carta già inserita tra le lastrine di vetro, si accerta che le estremità in-

feriori della striscia stessa peschino per un tratto quasi uguale nel rispettivo recipiente, indi si collega il sistema all'alimentazione in millilitri che eroghi un potenziale di 200 volt massimi, tensione questa che possa comunque essere regolata con il potenziometro od il partitore di tensione. Si fa uso di elettrodi di carbone di storta ricavati da pile a secco, ben puliti, e si cura che solo la parte in carbone di essi peschi nel liquido e non il collarino di ottone od il conduttore di rame avvolto al carbone stesso e destinato a portare all'elettrodo la tensione dall'alimentatore.

Predisposte così le cose, si dà tensione al complesso: se la corrente risultante è inferiore ai 10 milliampère, occorre staccare l'alimentazione, estrarre la striscia dalla coppia di lastrine di vetro, riportare la soluzione dei due contenitori in un unico recipiente dove si aggiunge altro sale da cucina, allo scopo di aumentare lo stato di ionizzazione e quindi di conducibilità del liquido, dopo di che si prova di nuovo sotto tensione.

Di solito occorre un cucchiaino raso da caffè per 300 millilitri di acqua distillata per ottenere condizioni ideali di conducibilità, mentre le condizioni possono variare alquanto, specie se si usa acqua non distillata per la presenza di altre sostanze, ionizzanti o meno. La sostanza destinata a servire da « tampone » e che, nel nostro caso, viene rappresentata da un quarto di cucchiaino da caffè di bicarbonato di sodio per 300 millilitri di acqua, non introduce praticamente alcuna variazione nelle condizioni di funzionamento del sistema.

Una volta che sia stato ottenuto un elettrolita avente una resistenza appropriata, si tratta di tracciare con un lapis una sottile linea retta in senso longitudinale e che divida nel senso della larghezza una striscia di carta assorbente nuova; quindi si inumidisce la striscia stessa, come era stato fatto con la precedente, se ne elimina l'umidità in eccesso, comprimendola leggermente tra due fogli di carta assorbente e si applica, sulla linea stessa, con la punta di uno stuzzicadenti, una piccolissima goccia della sostanza che interessa analizzare ossia, in questo caso, della spuma addizionata con le tracce di colorante artificiale.

La macchia di vino si farà a questo punto evaporare parzialmente, lasciando la striscia di carta esposta alla temperatura am-

biente in un locale esente da polvere e mantenendola in queste condizioni sino a quando la quantità del liquido non sarà ridotta alla metà di quella originaria. Subito dopo si distende sulle superfici interne delle piastrine di vetro un velo di un grasso al silicone; si inserisce la carta tra le piastrine stesse, e quindi si applica, lungo gli spigoli delle lastrine, nello spazio, un poco di grasso, allo scopo di crearvi una specie di stuccatura destinata ad impedire la rapida evaporazione del liquido tampone e dell'elettrolita. Si immergono allora le estremità libere della striscia di carta nelle due vaschette nelle quali pescano gli elettrodi di eccitazione e si dà corrente al sistema.

Se il campione di bevanda in esame contiene qualche sostanza colorante artificiale, anche se innocua, dopo circa cinque minuti di circolazione di corrente, il bordo della macchia di vino rivolto verso la vaschetta nella quale si trova immerso l'anodo del circuito elettrico, ossia quello a cui è collegato il polo positivo della tensione di alimentazione, tenderà a divenire molto più netta e decisa, mentre il bordo della macchia stessa, rivolto verso il catodo, ossia verso la vaschetta in cui è immerso il polo negativo dell'alimentazione perderà molto della sua definizione. Entro un'ora una macchia di colore, probabilmente di forma allungata, simile ad una cometa, si sarà spostata di un buon tratto dal punto dove essa era in origine. Con il continuare del trattamento altre macchie di colore, per lo più allungate, ciascuna prodotta da uno dei componenti della sostanza colorante, scorreranno lungo la carta, per lo più su di una linea unica corrispondente all'asse della prima macchia, in una successione simile a quelle di cui qualche esempio viene fornito nella fig. 65 e 66; la sostanza colorante del vino si svilupperà in un periodo di circa 6 ore; la macchia originale del vino si muoverà invece, in questo tempo, di un tratto assai inferiore.

Distribuendo varie gocce piccolissime lungo la linea tracciata con il lapis, sarà possibile eseguire dei confronti tra diverse qualità di sostanze analoghe, come appunto nel caso di vini e di altri prodotti suscettibili di adulterazione o di falsificazione; in più sarà anche possibile eseguire delle analisi multiple.

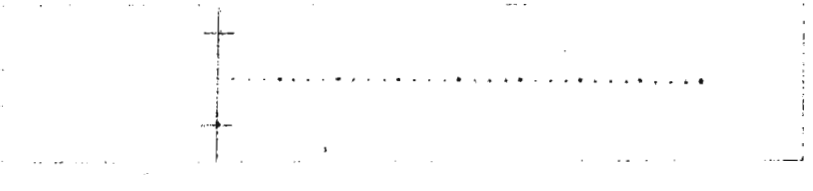
Distribuendo varie gocce piccolissime lungo la linea tracciata con il lapis, sarà possibile eseguire dei confronti tra diverse

65. *In alto,* alone di elettroforesi prodotto dalle sostanze contenute in un vino Chianti genuino. *In basso,* alone ottenuto da un vino artefatto, al quale sono state aggiunte sostanze coloranti innocue.

qualità di sostanze analoghe, come appunto nel caso di vini e di altri prodotti suscettibili di adulterazione o di falsificazione, in più sarà anche possibile eseguire delle analisi multiple.

La tendenza da parte delle zone di colore, a dilagare, a scorrere, ad assumere delle forme allungate e comunque ad allontanarsi dai loro contorni netti è una delle caratteristiche meno desiderabili, appannaggio della tecnica dell'elettroforesi di zona, e presenta anche la possibilità di creare qualche confusione nello sperimentatore specie se alle sue prime esperinze.

Ove possibile comunque, sarà bene fare in modo di protrarre al massimo l'essiccazione dell'umidità contenuta nella macchia, una volta che questa sia stata depositata sulla striscia di carta, anzi, più spinta sarà stata questa essiccazione, più netta sarà l'immagine della zona di colore. Un grado accettabile di essiccazione potrà essere raggiunto, ad esempio, applicando sulle piastrine di vetro una considerevole ed uniforme pressione; meglio ancora se una prima essiccazione sia fatta inserendo prima la



66. *In alto,* analisi elettroforetica di mosto puro. *In basso,* analisi analoga eseguiata su campione di mosto artificialmente colorato. Visibili tracce della migrazione dei colori.

striscia di carta tra due foglie di carta bibula e quindi inserendo il tutto tra le due piastrine di vetro; in ogni caso, l'essiccazione potrà considerarsi sufficiente quando una mano, pulitissima, passata sulla macchia di colore non determini alcuno scorrimento della sostanza colorante né alcuna perdita della forma originaria.

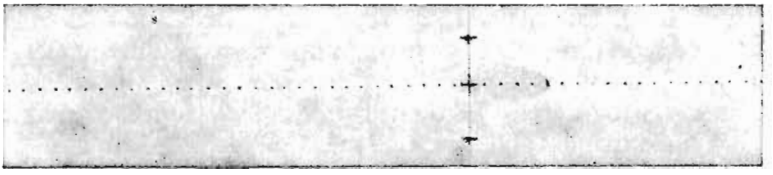
Si raccomanda agli sperimentatori di dedicare qualche ricerca per un sistema per aumentare la pressione sul vetro delle piastrine senza determinare la distorsione né la rottura delle stesse.

Le sostanze che, applicate sulla striscia di carta dell'analisi elettroforetica, riescono a scorrere ed a spostarsi più rapidamente di altre, si dicono « ad elevata mobilità ». La mobilità è determinata in gran parte dalla forza della ionizzazione delle particelle della sostanza.

La ricerca delle caratteristiche di mobilità delle varie sostanze può rappresentare un interessante campo per quanti siano ai loro primi esperimenti. Tale ricerca potrà essere condotta in maniera molto semplice: ad esempio, misurando semplicemente il tempo impiegato dalla sostanza nel suo spostamento, ed attuando nel contempo qualche confronto di un campione chimico con una soluzione tampone di controllo, di cui siano noti il pH e la concentrazione. I coloranti che si usano per la colorazione degli specimen biologici, di cui interessa differenziare qualche parte nella osservazione al microscopio, sono certo dei materiali interessanti per la conduzione di questi esperimenti. Una serie di coloranti, particolarmente adatta, è certo quella rappresentata dalla eosina Y, il blu di metilene, la fuxina a reazione basica, il verde malachite, il bruno Bismark, la safranina ed il violetto genziana. Le proprietà chimiche di queste sostanze sono in genere elencate nei testi di analisi; ciascuna di esse tende ad emigrare in una soluzione salina, ad un regime caratteristico. Nella fig. 67, ad esempio, è illustrato il caso delle differenze di migrazione che si riscontrano nel blu di metilene, ad ionizzazione positiva, in alto, della eosina Y ad ionizzazione negativa, al centro, e della fuxina basica, in basso.

L'esame, di cui a questa illustrazione, è avvenuto con una soluzione elettrolita di cloruro di sodio, resa tampone con tracce di bicarbonato di sodio, operando su una striscia di carta bibula.

Lo stesso esperimento aveva dimostrato che la macchia del



67. *In alto*, migrazione del blu di metilene; *in basso*, migrazione della fucsina a reazione basica.

verde malachite tende a migrare ad una velocità di 25 millimetri l'ora, alla temperatura di 22°C, sotto una tensione di 200 volt ed una corrente di 10 milliampère.

I dilettanti che desiderano affrontare qualche esperienza più impegnativa, possono provarsi ad operare la separazione delle proteine presenti nel sangue. Ciò comporterà il piccolo disagio della estrazione di una goccia del liquido, il che comunque potrà essere fatto con una operazione poco dolorosa. Sarà anche necessario disporre di una centrifuga con cui separare, dal tessuto sanguigno, il siero o plasma; occorrerà infine un piccolo quantitativo di barbiturato di veronal ed un litro di alcool etilico del 95%.

Si tratta di inumidire la striscia di carta nella soluzione di veronal addizionata con bicarbonato, per portarne il pH al valore di 8,6 e quindi di asciugare la striscia stessa passandola tra due fogli di carta bibula; quindi si applica su di essa, 5/1000 di millilitro, di siero di sangue misurando questo quantitativo con una certa attenzione usando una micropipetta graduata. Come al solito quindi, si sistema la striscia tra le due lastrine di vetro e si applica, lungo la linea di contatto tra queste, del grasso al silicone.

Una differenza di potenziale di 15 volt per centimetro di lunghezza della striscia ed una corrente di 15 milliampère, in queste condizioni servirà a determinare lo sviluppo del campione in un tempo di cinque o sei ore; il campione comunque potrà presentare delle tracce di dilagamento; ove invece si adotterà una tensione di soli 4 volt per centimetro, si avrà lo sviluppo del campione in un tempo di 12 ore ma, in compenso, le zone della macchia si presenteranno con una assai maggiore definizione. Le varie so-

stanze che compongono il siero o plasma sanguigno sono difficili da vedere direttamente, comunque, l'albumina in esso contenuta, potrà essere resa molto evidente con la semplice aggiunta di pochi cristalli di blu di bromofenolo.

Dopo che l'albumina si sarà spostata di un determinato tratto, ad esempio di 7 centimetri, si toglie dal complesso la striscia di carta sulla quale si stava svolgendo l'elettroforesi e la si immerge per due minuti in un recipiente contenente dell'alcool etilico a 95 gradi saturato con cloruro mercurico al quale sia stato aggiunto l'1% di bromofenolo.

Quando verrà estratta dal recipiente, la striscia si presenterà con una colorazione giallo-scura; a questo punto si tratterà di immergerla in una soluzione all'1 per mille di acido acetico in acqua distillata. Al contatto con tale liquido, la striscia muterà il suo colore in un blu scuro; anche questa colorazione comunque tenderà a scomparire lentamente nel corso del lavaggio, eccezion fatta per le zone sulle quali si sarà trasferita l'albumina, le quali manterranno la colorazione azzurra.

Nelle figg. 68 e 69, appaiono alcuni esempi della selezione delle varie proteine nel sangue prelevato da due individui, uno dei quali, in piena salute ed uno malato. La densità del colore di ciascuna delle macchie indica la concentrazione della proteina presente nella zona denunciata appunto dalla macchia stessa. Da destra a sinistra, in fig. 68, in cui è rappresentata la foto di un esame su siero normale, si possono rilevare le macchie delle zone corrispondenti alla albumina, alla alfa-1-globulina, alla alfa-2-globulina, alla beta globulina ed alla gmma globulina. La macchia intensa alla sinistra nella fig. 69 è un segno caratteristico dell'affezione ossea nota con il nome di mieloma. Anche altre malattie riescono a determinare la comparsa di particolari disposizioni di macchie, al punto da costituire un valido aiuto negli

68. Schema dello spostamento delle proteine contenute nel sangue di un individuo sano.

69. Schema dello spostamento delle proteine del sangue di un individuo sofferente di Mieloma.

esami diagnostici, con indicazioni della massima attendibilità.

Nella fig. 70 è illustrato il risultato del primo tentativo, da parte di un ricercatore dilettante, nel frazionamento del chiaro di uovo di gallina. La macchia è una spiegazione al desiderio dello sperimentatore a mantenere l'incognito. Nell'esperimento, la soluzione tampone era costituita da sale da cucina, bicarbonato di sodio ed acqua.

Diverse tecniche sono state escogitate per attuare misurazioni quantitative delle macchie di colore prodotte dalle proteine. In una di queste la striscia di carta viene divisa in sezioni della lunghezza di 20 centimetri, in ciascuna delle quali la sostanza colorante viene quantitativamente diluita in un volume di 2 millilitri della soluzione centinormale di idrato di sodio e quindi la comparsa e la variazione delle zone di colore sono rilevate e misurate quantitativamente con i valori risultanti dalle indicazioni fornite dal colorimetro; sono quindi annotati come una successione di punti molto ravvicinati che uniti insieme con dei piccoli segmenti formano la curva caratteristica del campione nell'esame elettroforetico.

70. Primo tentativo dilettantistico del frazionamento delle proteine contenute nella chiara dell'uovo.

Come era stato citato in precedenza, l'elettroforesi di zona non è affatto limitata alla tecnica che prevede l'impiego della striscia di carta filtro o bibula. È anzi interessante l'esecuzione di qualche confronto tra i risultati ottenuti con l'analisi su vari supporti, composti di grani di amido, di gelo di silice, di albumina attivata ed altre sostanze simili, ed un confronto sulle reazioni delle varie soluzioni campione in relazione ai vari supporti. È ad esempio facile ed interessante preparare uno strato di amido: si tratta di introdurre 450 grammi di amido di patata in un setaccio con il fondo coperto di carta filtro: si lava a fondo la sostanza per 30 minuti con acqua in leggero movimento, e quindi si cola il residuo in uno stampo di vetro di forma rettangolare, di misura tale per cui lo strato assuma uno spessore di 10 millimetri. Lo strato così ottenuto va ulteriormente essiccato con la carta bibula; quindi per l'applicazione della corrente al sistema, viene usata la coppia di carboncini come per la ricerca convenzionale con la striscia di carta. Le sole limitazioni alle variazioni nelle disposizioni pratiche sono quelle imposte dall'ingegnosità del ricercatore. È possibile ad esempio adattare la tecnica dell'elettroforesi, per la separazione continua di notevoli quantità di sostanze: qualche dilettante riesce ad esempio a produrre sufficienti quantità di rosso inglese colloidale adattissimo per le ultime fasi della lavorazione degli specchi e degli obbiettivi, con la tecnica della separazione elettroforetica continua. Alla soluzione tampone viene permesso di scorrere lungo una larga striscia di carta filtro per attrazione capillare; il liquido, viene poi raccolto in basso, in un recipiente apposito: la miscela viene gradatamente applicata vicino alla estremità superiore della striscia di carta con una micropipetta a flusso continuo. I contatti elettrici sono applicati lungo le costole della carta per mezzo di stoppini di cotone o fibra di vetro, mantenuti continuamente saturi di soluzione tampone. Le porzioni non ionizzate presenti nella miscela tendono a scorrere uniformemente verso il basso, lungo la striscia; quelle invece in grado di subire una ionizzazione, assumono piuttosto un percorso diagonale la cui inclinazione, rispetto alla verticale, dipende dal livello con il quale è avvenuta la ionizzazione stessa. Basta pertanto tagliare la striscia in questione in tante losanghe inclinate, ciascuna delle quali contenga in prevalenza una porzione, riconoscibile dalla even-

tuale colorazione o dalla entità del quantitativo accumulato. Per ottenere dei quantitativi maggiori sarà anche possibile eseguire tante intaccature o piegature sulla striscia, in corrispondenza delle varie zone, e quindi disporre, sotto la striscia stessa, dei piccoli recipienti di raccolta, ciascuno dei quali al termine dell'operazione conterrà la frazione desiderata calata lungo la rispettiva intaccatura.

IV.

LE SCIENZE NATURALI

1. *Enigmi insignificanti della natura*
2. *Le gioie dello studio sui colibrì*
3. *Allevamento di farfalle e falene come animali da esperimento*
4. *Applicazione dilettantistica delle fascette agli uccelli*
5. *Note sui rettili ed anfibi*

1

ENIGMI INSIGNIFICANTI DELLA NATURA

Note su di un grande naturalista dilettante, Walker Van Riper.

Nel ricordare il contributo dato alla scienza da Walker Van Riper, agente di investimenti bancari a riposo, di Denver, nel Colorado, che aveva dedicato gli ultimi anni della sua vita allo studio delle scienze naturali, A. M. Bailey, direttore del Museo di Storia Naturale di Denver, diceva: « Van Riper era la risposta perfetta ai desideri del direttore del piccolo museo. Non sarebbe stato possibile pagarlo per il valore della sua straordinaria esperienza, eppure egli compiva il suo lavoro per la semplice gioia di farlo e lo faceva meglio di chiunque altro vi si fosse accinto ».

Van Riper aveva adottato come proprio hobby « l'indagine negli enigmi insignificanti della natura » come a lui stesso piaceva dire, « di attingere agli argomenti dubbi tra gli animali che non differivano se impostati in un modo o nell'altro ».

Con la sua macchina fotografica ad alta velocità provò, ad esempio, che i serpenti a sonagli non mordono, ma pungono con i denti aguzzi; egli confutò anche la credenza popolare secondo la quale la mosca cervo può superare la barriera del suono. Le sue fotografie, esattamente dosate nel tempo di esposizione, fatte su creature in volo, mostrano che molti insetti comuni possono superarla.

All'epoca della morte di Van Riper, nel 1960, egli era impegnato profondamente alla questione: « Quando una mosca comune atterra al soffitto, esegue un capovolgimento con le ali, oppure compie una lenta capriola, oppure un semplice mezzo giro della morte? ». Di tutti i suoi molti progetti di ricerca, comunque, nessuno forse è stato più affascinante della sua continua ricerca sui colibrì.

2

LE GIOIE DELLO STUDIO SUI COLIBRÌ

Nessun altro uccello può essere così facilmente indotto a prestarsi a delle osservazioni così profonde e pochi sono gli uccelli che presentano un numero maggiore di aspetti insoluti; Walker Van Riper ideò delle tecniche brillanti, per attirare i colibrì e studiare le loro abitudini. Nel capitolo presente vi sono alcuni dei suoi metodi, descritti con le sue stesse parole.

Probabilmente, nessun altro uccello si presta ad osservazioni così profonde. È possibile, ad esempio, ottenere delle risposte relative precise a questioni come le seguenti: « Di che cosa si nutre ed in che misura consuma gli alimenti? ». « Con che velocità ed in che maniera esso vola? ». – « Come tiene cura dei suoi piccoli? ». In aggiunta alla sua convenienza come soggetto delle osservazioni, il colibrì è anche il più bello, vivace, coraggioso ed, a mio parere, di gran lunga il più interessante tra gli uccelli.

Queste parole possono apparire alquanto stravaganti, ma traggono un valido fondamento di attendibilità dall'autorità di chi le ha pronunciate. John Gould, grande ornitologo britannico del 19° secolo, aveva apprezzato i colibrì al disopra di tutti gli altri uccelli: la sua opera in cinque volumi « Monografia sul Trochilide o sul Colibrì » lo testimonia.

Eugenio Simon, capo della società Entomologica di Francia, aveva realizzato un lavoro di grande valore sulla classificazione dei colibrì, opera questa che elaborò per ben 30 anni, prima di pubblicarla.

Simon aveva dedicata la sua vita allo studio dei ragni, ma durante una spedizione nel Venezuela, dove si era recato appunto per catturare esemplari di ragni, venne « sedotto » dai

colibrì e da allora aveva deciso di dividere le sue fatiche fra la sua prima materia di studio e questa ultima.

Se si considera che vi sono circa 600 specie di Trochilide o di colibrì, numero questo più nutrito di quello delle specie di qualsiasi altra classe di uccelli, la tassonomia dei colibrì rappresenta un'impresa veramente impegnativa; a riprova di questo, va segnalato il fatto che esiste addirittura una qualifica per un naturalista che dedica il suo lavoro specialmente ai colibrì: quella di « trochilidista ».

I colibrì appartengono esclusivamente al Nuovo Mondo; gran parte delle specie di essi sono tropicali. Solo 14 vivono normalmente negli Stati Uniti; sul versante verso est delle Montagne Rocciose, nel Colorado, se ne trovano tre specie: il « codalarga », il « rufo » ed il « calliope ».

Il primo dei tre è il colibrì per eccellenza, che nidifica sulle pendici delle montagne ed anche nei giardini cittadini. Esso è molto simile al colibrì a gola rossa, unica specie trovata nella parte est della nazione.

I colibrì rufo e calliope si presentano, in tali zone, solo durante il loro viaggio di ritorno in direzione del Messico, dalle migrazioni provenienti dal Nord, dove essi si riproducono durante l'estate. Il rufo ha probabilmente la migrazione a maggior raggio; tra tutti i colibrì esso infatti nidifica in posizioni assai settentrionali quale il Sud dell'Alaska; esso presenta poi anche un'altra distinzione; venne per la prima volta descritto addirittura dal Capitano Cook che, nel suo terzo ed ultimo viaggio ricevette in dono alcuni colibrì della specie rufus dai nativi dell'Isola Vancouver.

Di solito, verso la metà di luglio, un piccolo numero di uccelli migratori provenienti dal Nord giunge qui. I maschi adulti giungono per primi e si trattengono solo due settimane circa. Li seguono poi le femmine ed i piccoli.

I maschi giovani, a volte, si trattengono sino a settembre rimanendo anzi, a volte, più a lungo degli stessi colibrì a coda larga, ivi residenti. Il calliope è il più piccolo tra i colibrì locali, in quanto pesa circa 2,5 grammi, vale a dire poco più di una moneta da venti lire.

L'adattabilità dei colibrì ad una osservazione da vicino ed alla sperimentazione è dovuta principalmente al fatto dell'assoluta

assenza di timore presentata dalle bestiole, a sua volta, forse derivante dal non avere il colibrì veri nemici di una certa entità. Accoppiate queste caratteristiche alla continua ricerca per il cibo ed alla prontezza ad accettare anche alimenti artificiali, rende questi deliziosi uccelli eccellenti soggetti da laboratorio.

L'alimento artificiale per i colibrì è uno sciroppo comparabile al nettare dei fiori del quale normalmente essi si cibano; gli allevatori di colibrì dispongono di un gran numero di nozioni in merito al tipo più adatto di questo sciroppo.

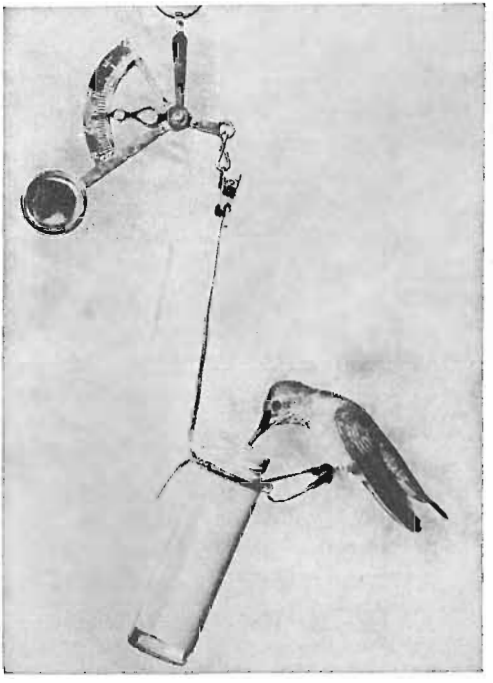
Io stesso, una volta, feci una prova di preferenza con una femmina adulta della specie codalarga: disposi una serie di bottigliette affiancate contenenti diversi miscele: soluzione di zucchero a varie concentrazioni; zucchero, acqua e succo di arancio; miele ed acqua; miele, acqua e succo di arancio. La bestiola dimostrò una evidente preferenza per lo sciroppo realizzato con una parte di zucchero ed una parte di acqua, ossia una soluzione con parti in peso uguali.

Va detto per inciso che queste bottigliette erano sistemate nel mio giardino, e che mi ero preoccupato di tenere lontane le vespe e le api che altrimenti sarebbero accorse a legioni, eseguendo nel coperchietto di ciascuna di esse, un forellino di 3 millimetri solamente, sufficiente appena per lasciare passare il becco del colibrì ma non gli insetti.

Allo scopo poi di tenere lontane anche le formiche, applicai attorno al foro stesso, ed attorno al coperchio, una zona anulare di melassa sulla quale gli insetti sarebbero stati invischiati.

Preparai poi un esperimento allo scopo di determinare la proporzione di sciroppo consumato quotidianamente dalla bestiola in esame, specialmente in relazione al suo stesso peso; a tale scopo feci in modo che la bestiola si cibasse da un'unica bottiglietta, poggiando su di un trespolo di filo mentre l'insieme della bottiglia e del filo pendeva da una piccola bilancia pesalettere (vedi fig. 71); con un comando a distanza, avevo messo la mia macchina in condizioni di fotografare l'indicazione della bilancia e registrare quindi il peso dell'uccellino.

Il peso medio dopo essersi nutrito era di 4,3 grammi, il che significava che la bestiola consumava ogni giorno un quantitativo di ben 1,8 grammi di zucchero, che in relazione con il suo peso, rappresentava addirittura il 42 per cento.



71. Disposizione adottata per effettuare la pesata di un colibrì mentre questi si sta cibando.

Un tale assorbimento di cibo così altamente energetico è, per lo meno sorprendente; Oliver Pearson, aveva mostrato che il colibrì presenta il più elevato regime di metabolismo, tra quello di tutti gli animali a sangue caldo; in fatto di calorie, la bestiola consumava 1,7 calorie di zucchero per grammo del suo peso corporeo ogni giorno, quantità questa più di trenta volte maggiore di quella richiesta da un uomo che esplichi un lavoro di media faticosità.

Va anche detto che la bestiola non limitava la sua alimentazione a quella che poteva prelevare dalla bottiglia, non perdeva infatti occasione di divorare ogni giorno qualche insetto e di suggere anche del nettare dai fiori.

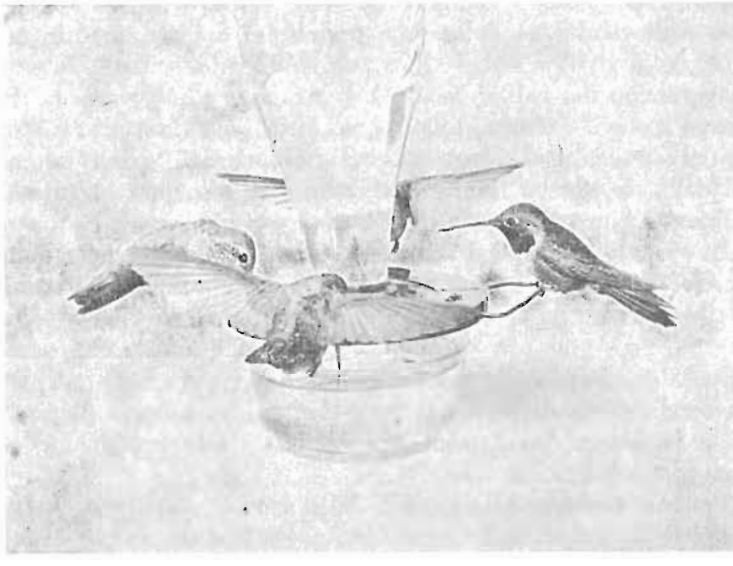
Per diversi anni mantenni un posto di distribuzione di cibo in un angolo di bosco con pini e querce in una fattoria distante 40 chilometri da Denver dove mi era parso possibile riunire, per le ricerche, un numero di uccelli assai maggiore di quello che era possibile raccogliere nel parco della città, dove comunque queste bestiole erano presenti in piccolo numero. Durante un'estate, riuscii a stabilire addirittura un censimento della popolazione di colibrì presente nella fattoria.

Nei primi giorni di maggio disposi diversi apparecchi distributori di cibo di un nuovo tipo ideato da Erwin Brown, fig. 72, che erano realizzati con vasetti di plastica per gelatina di frutta della capacità di 150 grammi, muniti di coperchio rosso; un foro fatto nel centro del coperchio accoglieva il collo di una bottiglia da bibita gassata, vi sono poi altri quattro fori, spaziati uniformemente lungo la zona perimetrale del coperchio, uniformemente spaziati e del diametro di 3 millimetri ciascuno, destinati ad accogliere il lungo becco delle bestiole, impedendo però il passaggio agli altri insetti.

Un paio di elastici tiene la bottiglia nella corretta posizione rispetto al coperchio e trattiene il coperchio in modo stabile sul vasetto. Dapprima viene riempita la sola bottiglia, la quale viene fatta scendere, con il collo sino al fondo del vasetto, poi si applicano gli elastici interessati all'unione dei vari elementi e si capovolge la bottiglia: in queste condizioni, un piccolo quantitativo di sciroppo scende nel vasetto, sino a quando si stabilisce un equilibrio di pressione che impedisce ad altro sciroppo di scendere; questo accade solamente quando il livello del quantitativo presente nel vasetto si è abbassato al disotto del punto dove si trova la bocca della bottiglia dalla quale può uscire un ulteriore quantitativo di liquido; il funzionamento del sistema è, così, completamente automatico, sino al completo svuotamento della bottiglia.

Da questi distributori, ben poco è l'alimento che va perso a causa di evaporazione o per altre ragioni, per cui si può affermare con certezza che, la quasi totalità di esso, viene consumata dagli uccelli.

Il 20 giugno, feci distribuire mezza dozzina di questi dispositivi su di una zona di circa un chilometro quadrato e potei valutare che il numero di bestiole che attingevano a questo si-



72. Colibrì coda-larga circondano il distributore di cibo, in un esperimento interessato ad indagini sulla densità degli esemplari. *A destra,* un maschio, mentre una femmina si trova *a sinistra.*

stema di distribuzione era di circa 66, tutti delle specie « coda-larga ».

Erano stati scoperti, in quella data, anche diversi nidi per cui, a giudicare da questo, potevo dire che la maggior parte delle femmine adulte stava covando in quell'epoca. L'11 di luglio, dopo cioè che le uova si erano schiuse, la popolazione totale dei colibrì adulti era di 118 capi.

A volte, anzi, i rufi vengono chiamati « colibrì dorati ». Hanno gratori. L'arrivo del primo rufo maschio è sempre un avvenimento interessante poiché si tratta di una creatura veramente bella.

A volte, anzi, i rufi vengono chiamati « colibrì dorati». Hanno la schiena del colore del rame brunito e presentano un collare (che viene descritto di un rosso estremamente vivace ed acceso o scarlatto a riflessi metallici virante al cremisi, al dorato

ed al verde del bronzo). La brillantezza metallica e le tonalità cangianti del collare sono dovute alle caratteristiche di riflessione e di rifrazione della luce presentate dai piccolissimi elementi della struttura delle loro penne. Il rufo è il più litigioso ed aggressivo dei colibrì locali. Leggermente più piccolo del codalarga ma più comune, impiega poco tempo a dimostrare il suo carattere autoritario. Dopo trascorse 24 ore dall'arrivo dei maschi del rufo, questi hanno già assunto il comando su tutte le bottigliette che servono da distributori per l'alimento.

In volo, gli esemplari di questa specie producono un rumore ronzante distinto, simile a quello di un calabrone, a differenza del sibilo prodotto dal maschio del codalarga. Il giovane maschio del codalarga vola, da principio, producendo un ronzio simile a quello prodotto dalla madre ma quando avviene su di esso la seconda muta di penne si formano, sul piumaggio delle sue ali, le fenditure che danno appunto luogo alla produzione del caratteristico sibilo.

Con l'arrivo degli esemplari delle specie migratorie, la popolazione di colibrì nella zona da me controllata giunse al numero 132. Man mano che un numero maggiore di giovani codalarga giungeva ad alimentarsi ai distributori, la popolazione aumentò gradatamente sino a 166 esemplari contati il 24 luglio. Più tardi, la popolazione diminuì rapidamente ed il numero si ridusse a 70 esemplari verso la fine del mese; si mantenne a questo livello per la maggior parte del mese di agosto, scese a 39 esemplari il 4 settembre ed era completamente scomparsa l'11 dello stesso mese.

Nel mese di luglio, quando la popolazione di colibrì era al suo massimo, a volte rifornii un solo distributore, generalmente quello con coppa rossa, allo scopo di concentrare la massima quantità di uccelli per una più comoda osservazione diretta e per l'esecuzione delle foto.

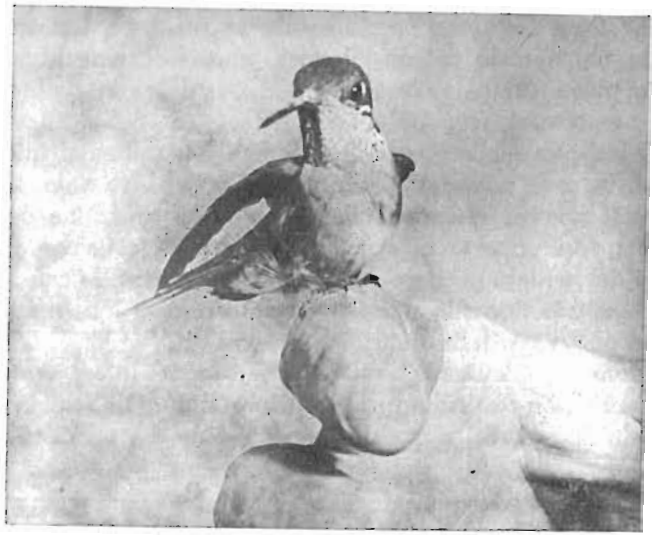
Da questo provvedimento, derivò spesso un nugolo di 25 o 30 colibrì riuniti, che bisticciavano, si inseguivano, svolazzavano attorno alla coppa del distributore. Quando io stesso sedevo nella mia auto, alcune delle bestiole volavano sino alla vettura, dinanzi al parabrezza, a pochi centimetri da me, e mi guardavano con interesse. Allorché mettevo insieme il mio apparato fotografico, giungevano subito degli uccelli ad indagare attorno

alla macchina, alla lente ed alle altre attrezzature, su qualsiasi cosa che fosse brillante, specialmente se rosso. Se tenevo nelle mani la coppa rossa del distributore, mezza dozzina almeno di bestiole filava subito sulle mie mani o sul bordo della coppa stessa, per cibarsi, figg. 73 e 74.

Era impresa facile quella di prendere fotografie dei miei soggetti, in tutte le posizioni, nelle varie funzioni, in volo, mentre sostavano, mentre mangiavano, ecc. L'esatta posizione del soggetto è molto importante specialmente per l'esecuzione di foto a colori del brillante collare del maschio, che scintilla con grande effetto, quando l'uccello si trova rivolto verso la luce ma con la testa in direzione della macchina fotografica.

La fotografia dei colibrì è un'arte veramente interessante; con alcuni amici, ho costituito forse la più insolita delle società scientifiche, la Società dei « trochilidografi » ossia dei fotografi di co-

73. I colibrì sono tutt'altro che paurosi. *A destra,* un maschio della specie codalarga; *a sinistra,* una femmina della stessa specie.



74. Un colibrì rappresenta un soggetto ideale per gli studi dilettantistici.

librì. L'arte richiede lo speciale flash elettronico ad alta velocità ideato da H. E. Edgerton dell'Istituto di Tecnologia del Massachusetts.

L'esposizione di 1/5000 di secondo consente una mediocre ripresa di un'ala di colibrì in volo, una esposizione ad 1/20.000 di secondo, riesce invece a permettere la ripresa dell'ala stessa come se questa fosse ferma.

Di solito, per i nostri lavori, usiamo tre lampade, due delle quali ai lati della macchina fotografica ed una allo sfondo che risulterebbe troppo scuro od addirittura nero, in mancanza di questa. La fotografia a colori, come anche quella in bianco e nero, risulta facile e ben riuscita nella maggior parte dei casi con questa disposizione.

Le foto di queste pagine, in cui appaiono dei colibrì in volo, sono state riprese appunto con tempo di esposizione di 1/20.000 di secondo; una delle foto, ossia la numero 75, è la rara fotografia di un calliope maschio.

Questo piccolo furfante è piuttosto raro nella nostra zona, in quanto solo pochi esemplari di esso passano nel corso delle

migrazioni: io stesso non avevo avuto occasione di più che una semplice occhiata di due o tre di essi e non avevo avuto l'occasione per la ripresa di una foto sino a quando R. J. Niedrach, conservatore di uccelli presso il Museo Denver, non ne scoprì uno l'estate scorsa, mentre si cibava in un appezzamento di viti.

Tentammo tutti gli strattagemmi del nostro repertorio per presentare al colibrì calliope una bottiglietta contenente del cibo, ma questi aveva concentrata la sua attenzione su quello che la vigna poteva offrirgli e non si sarebbe lasciato allettare.

75. Maschio della specie « calliope » del colibrì; presenta il collare a strisce bianche.

Così, infine, io dovetti installare la macchina fotografica e le luci su di una pianta lì vicina e quindi mettermi ad attendere. Mi accomodai nel modo migliore con uno sdraio e con un ombrello (poiché era molto caldo), e mi disposi alla distanza di 8 o 9 metri, tenendo sempre a portata di mano il pulsante del comando a distanza della macchina fotografica.

Durante appostamenti della durata di una settimana fui capace di riprendere tre o quattro fotografie ben riuscite: dovevo infatti riprenderlo su di uno sfondo scuro poiché una luce puntata in direzione dello sfondo lo disturbava in misura sufficiente da farlo allontanare dalla zona migliore per la ripresa delle foto.

Vi è un'antica divergenza attorno alla possibilità del colibrì di volare all'indietro. Il duca di Argyll in un'opera dell'epoca vittoriana di un certo valore, sostiene come sia fisicamente impossibile per qualsiasi uccello operare così e che le osservazioni sul colibrì che davano una tale sensazione erano puramente illusorie.

La discussione stessa è comparabile con quella moderna secondo la quale una palla da baseball può percorrere, nell'aria, una traiettoria curva, se lanciata in una certa maniera: in entrambi i casi, la fotografia con lampo ad alta velocità, ha dato la corretta risposta: la palla di baseball può procedere in curva ed il colibrì può volare all'indietro.

Una delle nostre foto presenta appunto il colibrì nell'atto del volo all'indietro, fig. 76; per eseguirla sono stati prodotti in rapida successione tre lampi elettronici, mentre la macchina era lasciata con l'otturatore aperto per alcuni secondi.

Durante l'accensione del primo lampo, l'uccellino appare con il becco tuffato nella bottiglia di cibo e sul punto di partire; durante l'accensione degli altri due flashes la bestiola è visibile nettamente spostata all'indietro.

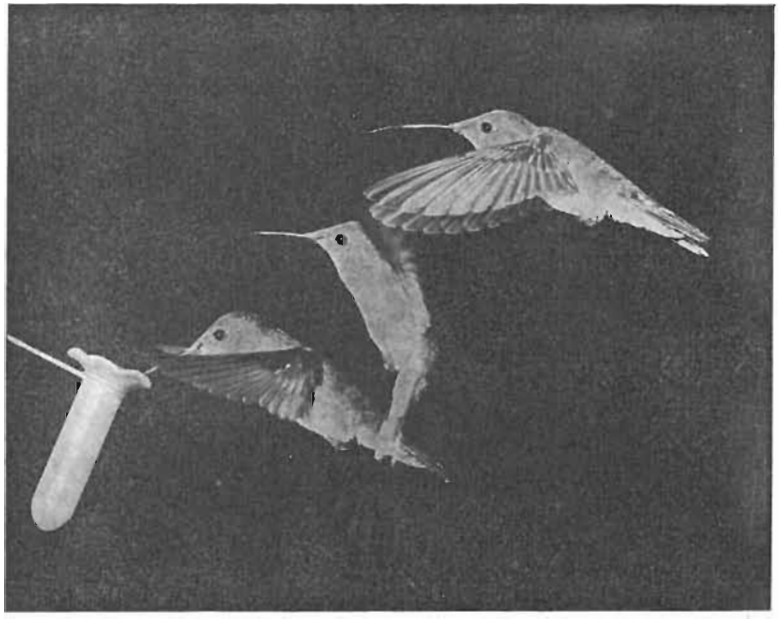
Le foto sono state riprese su di uno sfondo di velluto nero, condizione questa indispensabile per l'esecuzione di foto ad esposizione multipla.

Una coppia di flashes successivi, di cui sia esattamente noto l'intervallo di tempo intercorrente, permette di determinare la velocità di volo, almeno in linea retta, di un uccello; una serie di tre o più flashes invece permette di stabilire, oltre alla velo-

cità, le eventuali variazioni della velocità stessa (accelerazioni), e le variazioni di direzione. C. H. Greenewalt, membro della nostra originale associazione, ha pubblicato alcune interessanti relazioni sui picchi e su altri uccelli, in volo di avvicinamento e di allontanamento dal ripiano dove era disposto il cibo. Queste misurazioni sono di una certa importanza dato che la stampa, a questo proposito, risulta assai imprecisa ed anzi contraddittora su questo nel fornire dati. Io stesso recentemente indagai sulla velocità dell'allocco delle paludi su tre diversi libri di storia naturale, che erano capitati sul mio tavolo: uno di questi affermava la velocità di 128 chilometri all'ora, un altro indicava quella di 288 ed il terzo dichiarava addirittura una velocità di 432 chilometri all'ora. Le ricerche da me condotte, sebbene incomplete, non sono riuscite a dare indicazione superiore di quella di 92 chilometri all'ora.

Varie velocità sono state anche riferite in ordine al volo del colibrì: è mia opinione quella secondo la quale esse siano notevolmente esagerate; in questo campo di ricerca, è buona norma quella di ammettere che, più accurata risulta l'osservazione condotta, minore risulta in genere la velocità rilevata.

L'esperienza comune mostra che si è di solito propensi a sopravvalutare la velocità di piccoli oggetti in spostamento nelle vicinanze: un'ape sembra, ad esempio, sfrecciare come un proiettile mentre da un accurato esame, risulta che essa non supera la velocità di 16 chilometri all'ora. Il volo in picchiata del colibrì maschio della specie « codalarga » rappresenta probabilmente l'occasione alla quale esso appare alla massima velocità. Un ornitologo ben noto mi disse, una volta, che pensava che questa potesse anzi essere la massima velocità raggiunta da qualsiasi uccello. Un maschio codalarga, durante il suo corteggiamento di fronte alla femmina, che di solito si trattiene vicino al suolo, si innalza verticalmente a 12 o 15 metri, quindi sosta per un momento e poi sfreccia verso il basso di fronte ad essa, poi si innalza di nuovo tracciando una specie di arco ad « U », con i bracci quasi verticali e molto vicini. Egli ripete parecchie volte questa esibizione; nel suo veloce volo in picchiata, produce un forte tintinnio la cui nota aumenta di altezza con l'aumento del battito delle ali, sinché raggiunge la sua massima velocità al termine della picchiata.



76. Foto ripresa con un flash a ripetizione: è evidente la capacità dell'uccello a volare all'indietro, ossia da sinistra a destra.

Disposi la macchina fotografica, con il flash elettronico regolato in modo da accendersi due volte, con un intervallo della durata di un centesimo di secondo.

Questo sistema opera in modo soddisfacente per cronometrare la velocità della picchiata di una rondine da grano ma, in molti tentativi, sono stato incapace di ottenere delle corrette misurazioni della picchiata dei colibrì: questa impresa si è dimostrata infatti estremamente difficoltosa. Sono stato però in grado di fare un buon rilevamento della velocità del colibrì in volo diritto mentre uno di questi esemplari ne inseguiva un altro, cacciandolo dalla bottiglietta di alimenti dalla quale si stava cibando. Anche questa manovra però sembra condotta con una velocità maggiore di quella che in effetti sia: in pratica essa non supera la velocità normale del colibrì, nel volo lineare.

In 14 rilevamenti, la velocità di inseguimento aveva un mas-

simo di 48 ed un minimo di 29 chilometri all'ora, fig. 77. Penso che la ragione per cui essa non è maggiore stia nel fatto che l'uccello stesso appare rallentare il suo volo quando si avvicina all'intruso, in quanto il suo obbiettivo non è quello di colpirlo, ma solo quello di cacciarlo via.

Affrontai pertanto il problema della velocità di picchiata in un altro modo, senza la macchina fotografica. Avevo notato che, spesso, una femmina si appollaiava su di un rametto vicino al distributore di alimenti e che questa sua sosta invitava a volte un maschio a fare la sua esibizione.

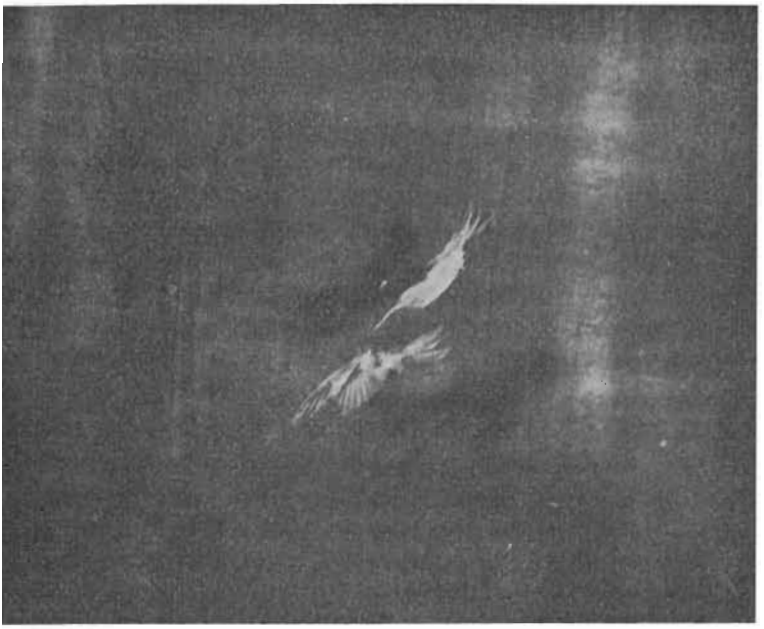
In genere, il maschio si innalzava all'altezza della sommità dell'albero più alto esistente nella zona prima di gettarsi in picchiata. Dopo avere misurata l'altezza di quell'albero, cronometrai più volte il tempo impiegato nella picchiata da diversi uccelli.

Ammettendo che la velocità all'estremità inferiore della picchiata dovesse essere doppia di quella media per l'intera picchiata, calcolai che la velocità massima del colibrì in quelle condizioni dovesse essere quella di circa 98 chilometri all'ora.

I colibrì sono stati spesso chiamati i più aerei di tutti gli uccelli; essi infatti, quando toccano terra od un qualsiasi altro appoggio, non camminano né saltano mai; se essi debbono girare attorno ad un ramo, lo fanno volando; se vogliono spostarsi di pochi millimetri di lato, si alzano in volo e si portano nella nuova posizione.

Talvolta mamma colibrì giunge perfino a dare, mantenendosi in volo, il cibo ai suoi piccoli nel nido, ondeggiando sopra il nido, piuttosto che sostando sul suo bordo. Allo scopo di fotografare una tale scena, mi era stato necessario abbassare il nido, esistente sul ramo di un albero, in una posizione più conveniente, in prossimità del suolo; per questo tagliai un ramo di un pino giallo sul quale si trovava un nido di piccoli, situato all'altezza di 8 metri circa dal suolo, indi con corde, lo feci discendere in quattro fasi consecutive, in giorni successivi, fig. 78 (per evitare di disturbare eccessivamente i piccoli e la madre ed evitando quindi di irritare quest'ultima). La piccola chioccia comunque risultò poco disturbata da questa operazione graduale.

Ho provato in diverse altre occasioni l'espediente di abbassare il ramo sul quale si trovava un nido; ed ho potuto consta-

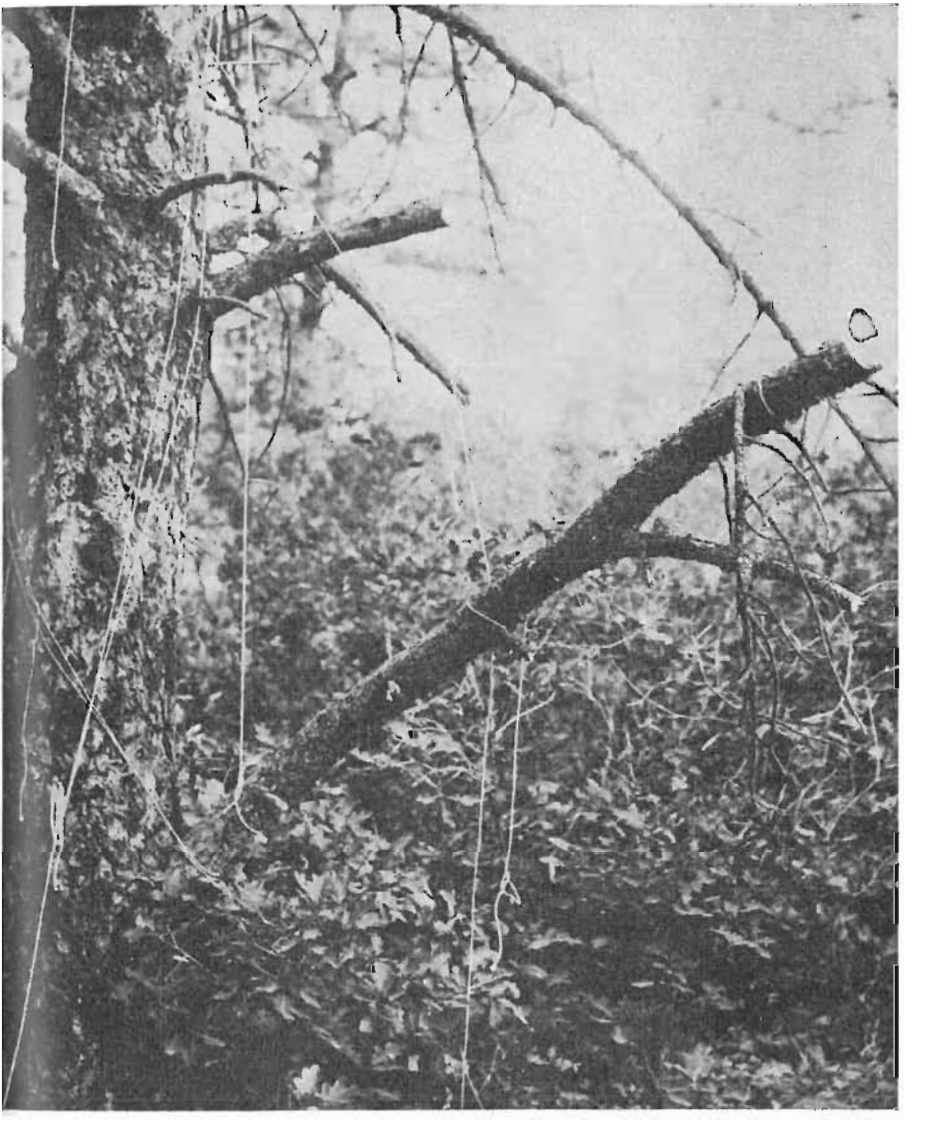


77. Colibrì maschio della specie codalarga, fotografato alla velocità di circa 47,7 chilometri orari, mentre è impegnato ad inseguire un intruso che stava attingendo al suo distributore di cibo.

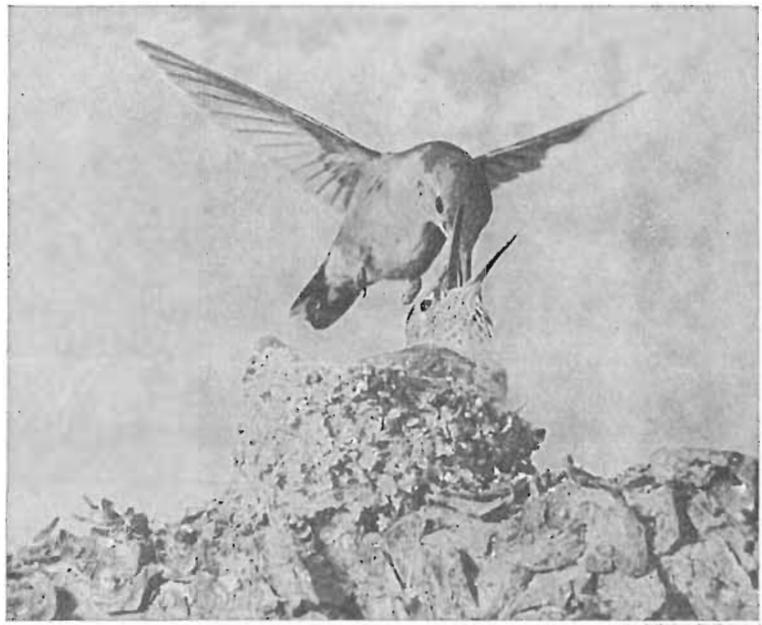
tare che esso può essere attuato anche con altri uccelli ma so che nessuno degli altri volatili si trattiene tanto solidamente, nel nido stesso, come fa invece appunto il colibrì.

Dopo avere portato verso il basso un ramo, ad un'altezza conveniente, mi accorsi che nel puntare la macchina sul nido dovevo muovere un ramo sul lato superiore del nido, per portarlo fuori di vista. Decisi allora di tagliarlo e munirlo di una striscetta di cuoio in funzione di cerniera in modo che la sua inclinazione potesse essere portata nella posizione migliore per la fotografia del nido.

Questa leggera oscillazione dell'estremità del ramo aveva come effetto anche quello di insospettire alquanto mamma colibrì, la quale preferiva somministrare il cibo ai suoi piccoli



78. Abbassamento di un nido di colibrì: il nido si trova alla destra del ramo, all'interno della biforcazione tra due rametti.

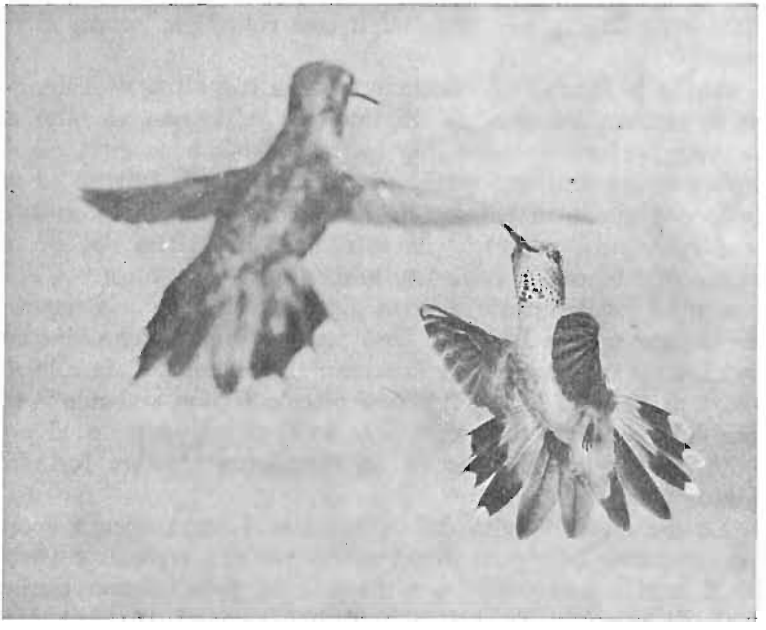


79. Mamma colibrì che nutre i suoi piccoli, mentre si trattiene in volo, a mezz'aria.

mantenendosi in volo: tale condizione aggiuntiva risultava ugualmente interessante ed anzi desiderabile, fig. 79.

La chioccia del colibrì codalarga costruisce il nido, cova le uova, alleva i piccoli, senza aiuto di alcun genere da parte del maschio. In effetti, si è avuta una prova che essa scelga il luogo per la dimora e cominci a costruirvi il nido prima ancora delle nozze e che dopo un tempo minimo di convivenza con il marito torna al nido e riprende le sue faccende domestiche.

La fase dell'accoppiamento è così breve che nei molti anni delle mie osservazioni sui colibrì non ho avuto occasione di vederne alcuna, ed anche pochi altri affermano di averne vedute. Questi piccoli uccelli sono dei soggetti molto indipendenti: eccettuata l'inevitabile cura della madre per i piccoli, essi mostrano assai poca tolleranza per la compagnia di altri esemplari.



80. Due femmine della specie codalarga si minacciano a vicenda in volo.

Al maschio non viene mai consentito di appollaiarsi vicino al nido, né, comunque, ciò è permesso a qualsiasi altro uccello. L'attacco della femmina impegnata a cacciare un intruso è una sorta di bombardamento in picchiata: essa sfreccia in basso, in direzione di questi, partendo da una distanza di 60 centimetri circa, indi con una scartata torna indietro.

L'intruso non corre pericolo effettivo, comunque la vivace ripetizione dell'azione riesce ben presto a spingere lontano l'intruso: ho anzi visto femmine dei codalarga cacciare in questo modo molte specie di uccelli.

Per aggressività, il primato va senza dubbio al maschio: inseguimenti e baruffe sono all'ordine del giorno, attorno alle bottiglie dei distributori di cibo. A volte si può perfino udire il rumore dello scontro tra due uccelli e, due o tre volte, io stesso ho avuto notizie di uccelli addirittura abbattuti da loro simili.

Il maschio si precipita perfino a beccare la sua stessa im-

magine riflessa in uno specchio, come anche un colibrì impagliato e perfino la sola testa ed il solo collo, impagliati, di un maschio.

Anche le femmine bisticciano talvolta con altre, vedi fig. 80, ma in entrambi i sessi, la litigiosità di solito non va oltre ad un atteggiamento di minaccia: lo scopo del loro comportamento sembra essere piuttosto quello di cacciare via un intruso od un rivale che quello di entrare in diretto combattimento con esso.

Alcuni anni addietro, durante una escursione del nostro gruppo di fotografi di colibrì sulle montagne Huachuca nell'Arizona meridionale, trovammo un giovane colibrì a gola azzurra che chiamammo « Junior ». Una sera un rapace che si stava avvicinando causò un poco di scompiglio in un pollaio alla distanza di circa 50 metri. Il nostro piccolo Junior, vedendo il rapace dal suo punto di osservazione in cima ad un melo, si precipitò in direzione di esso ed effettivamente riuscì a farlo allontanare in volo.

La durata della vita dei colibrì non è stata ancora accertata; io stesso ho saputo di un esemplare che visse in cattività per 5 anni e mezzo ed ho avuto notizia, peraltro non confermata, di un altro esemplare che visse sino ad 11 anni. Uno dei miei amici ebbe una femmina colibrì che nidificò nel suo giardino per 7 anni di seguito.

Come ho già detto, l'accoppiamento tra colibrì è stato osservato solo di rado, e le relazioni a questo proposito differiscono notevolmente. È stato riferito che esso può avvenire sia tra animali in volo come tra quelli a terra.

Una relazione attorno al calliope, riferisce: « Allorché egli passava dinanzi alla femmina questa si agitava e pendeva a testa in giù dal rametto al quale si sosteneva; il maschio allora si avvicinò svolazzando al disopra di essa con le ali vibranti e l'unione ebbe luogo in tale posizione.

Vi sono ancora molte questioni sulle quali occorre indagare. Senza dubbio, è molto distante il giorno in cui si potrà dire che si sono conosciute le risposte attorno alla storia della vita del più affascinante tra gli uccelli.

3

ALLEVAMENTO DI FARFALLE E FALENE COME ANIMALI DA ESPERIMENTO

Taluni lepidotteri sono di grande valore come animali da esperimento. Viene qui descritto dal Colonnello Otto H. Schroeter, autorevole studioso dilettante di lepidotteri, come riuscì ad allevare delle specie insolite ed a prepararle per l'esecuzione di alcuni studi.

All'età di 80 anni, il colonnello Otto H. Schroeter, di Quaker Hill, Connecticut, stava ancora cacciando le farfalle. Eccezion fatta per il tempo durante il quale studiava, da giovane, ingegneria nella nativa Germania, egli si dedicò a questo hobby per più di 6 decenni, compresi anche gli anni durante i quali era impiegato come sovrintendente alla costruzione nella zona del canale di Panama, per conto della Commissione del Canale per l'Istmo.

Quale fascino poteva tenere impegnato per una intera vita, all'hobby della raccolta di farfalle, un indaffarato ingegnere delle costruzioni? Una spiegazione a questa domanda sta forse nel servizio che il colonnello Schroeter riuscì a portare a termine, per Carroll M. Williams, eminente zoologo dell'università di Harvard, il quale utilizzava gli insetti per lo studio dei processi vitali fondamentali.

Williams necessitava di un grande insetto per indagare sulle metamorfosi ed era in difficoltà per la mancanza di esemplari, sino a quando sentì parlare di Schroeter e della sua collezione di bachi da seta giganti.

La nostra relazione col Colonnello Schroeter, « scriveva Williams », è certo un'eccellente dimostrazione di come un dilettante possa apportare un sensibile contributo alla scienza ed aver parte alla soddisfazione nell'indagine scientifica.

Il dilettante occupa un posto specialissimo nell'entomologia poiché, una notevole proporzione di quanti vengono poi detti « professionisti », iniziano appunto dalla qualifica di dilettanti. (Più tardi, incidentalmente, le complessità del lavoro in un laboratorio ed in una istituzione di ricerca può indurli a rimpiangere di non essere rimasti per sempre dei dilettanti!).

Per quanto io possa giudicare, il Colonnello Schroeter era il primo a presentare in questa nazione, per studi scientifici e per la sperimentazione, una meravigliosa serie di « bachi da seta selvatici ». Queste creature vivono in località del mondo assai distanti, come l'India, la Malesia e le pendici dell'Himalaya.

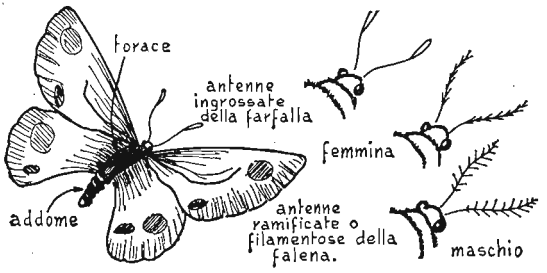
Il Colonnello Schroeter stabilì delle corrispondenze con tutte queste località e rese disponibile per molte Università e per i Laboratori statali, compreso il nostro, un ricco assortimento di materiale da ricerca.

Certe specie di bachi da seta si sono dimostrate di importanza essenziale per alcuni tipi di studi scientifici. Per esempio, noi stessi abbiamo più volte interpellato il Colonnello Schroeter per degli esemplari di *Antheraea mylitta*, il cosidetto baco da seta gigante tussah dell'India.

Questa creatura esotica è uno dei più grandi insetti del mondo, il cui bruco o larva, al termine del suo sviluppo, pesa circa 45 grammi. È facile intuire come gli studiosi possano usare animali di queste proporzioni, per rispondere a questioni di carattere chimico e fisiologico, per le quali non sarebbe davvero possibile attingere informazioni dagli insetti ordinari.

« Il Colonnello ha anche messo a nostra disposizione notevoli notizie derivate dagli esperimenti di allevamento da lui stesso condotti, relativi alla cura ed alla alimentazione di queste strane specie ».

Molti anni addietro, un certo numero di giornali presentava una foto di Schroeter con una falena delle dimensioni di 27,5 centimetri, che egli aveva ottenuto da un uovo delle dimensioni di una testa di fiammifero; si trattava di un *Attacus Edwardsi* le cui ali sono colorate con diverse tonalità di marrone e giallo e su cui sono delle sezioni trasparenti. Gli esemplari catturati nelle isole Filippine presentano un'apertura alare di circa 35 centimetri. Le larve della specie *Atlas* di questa falena si cibano delle foglie dell'*ailanthus*.



81. Le antenne permettono di riconoscere facilmente le farfalle dalle falene.

Gli studiosi non hanno comunque presentato grande interesse per il bruco dell'*Atlas* anche se questo è di tali rispettabili proporzioni: esso ha un colore verde, delle dimensioni di un dito e presenta due sporgenze a forma di corna, di colore blu, sulla testa.

Il suo corpo si presenta lucido, vetroso, come se fosse coperto di uno strato di zucchero caramellato; a completare il quadro di questo strano insetto, va segnalato che i nativi delle zone dove esso veniva raccolto informarono il Colonnello Schroeter che esso era anche di sapore delizioso.

Un'altra specie che aveva affascinato il Colonnello Schroeter è la *Thysonia aprippina*, originaria del Brasile; gli esemplari di questa specie che sono stati allevati a Quaker Hill presentano aperture alari maggiori, perfino, di quelle dell'*Attacus Atlas* che pure viene catalogato come la più grande falena del mondo.

Il Colonnello si dilettava a meravigliare i suoi visitatori porgendo loro il bozzolo dell'insetto, un oggetto delle dimensioni di una patata media, misura, questa, accettabile se si considerano le proporzioni dell'insetto che ne esce.

« I cronisti dei giornali, fecero tanta attenzione a questi grossi esemplari », spiegava una volta il Colonnello Schroeter, « che giunsero a trascurare gli esemplari veramente interessanti della raccolta. Si consideri ad esempio la *hybrid-luna*: sette anni addietro, un amico dilettante, residente in India, mi spedì per posta aerea una dozzina di bozzoli di questa falena indiana. Quando alcuni mesi più tardi, gli insetti adulti ne uscirono, apparve evidente la loro parentela con l'analoga falena americana.

Le due specie presentano quasi la stessa forma e dimensione e le loro ali presentano una colorazione generale simile, ossia un verde chiaro bluastro. Le ali della specie indiana si distinguono per due macchie di colore rosso. Decisi di tentare l'incrocio tra le due specie e l'esperimento giunse a buon fine ».

Il Colonnello Schroeter cominciò la sua sperimentazione col tentativo di adattare al nuovo clima la specie esotica, il che significava allevare diverse generazioni successive della specie straniera, a Quaker Hill, lasciandole adattare alle forme locali delle piante che loro preferivano e, soprattutto, all'ambiente esterno. Poi, egli scelse una femmina adatta della specie straniera e la indusse alla unione con un maschio della specie locale.

Egli stesso ideò un dispositivo destinato a facilitare la riuscita di queste unioni: gran parte dei dilettanti fissano una femmina ad un albero con una puntina da disegno e quindi si dispongono ad una certa distanza, nell'attesa che questa attragga un maschio.

Il principale inconveniente di questa tecnica, spiegava Schroeter, sta nel fatto che l'attrazione della femmina non si esplica limitatamente ai maschi della sua specie.

Un esemplare fissato ad un albero richiama anche altri insetti, uccelli, raganelle nella funzione di predatori che occorrono per divorare il corpo dell'insetto in difficoltà. Troppo spesso, quando il dilettante torna dopo essere stato lontano poche diecine di minuti trova, dell'insetto che aveva lasciato, un'ala appena; anche se questo non accade, poi, la farfalla, immobilizzata con un'ala od entrambe riesce sempre a dibattersi ed a danneggiarsi irrimediabilmente.

Per ovviare a queste difficoltà realizzai un dispositivo apposito, con un rettangolo di schiuma di polistirolo largo 30 e lungo 45 centimetri; un occhiello a vite affondato nel centro del rettangolo trattiene un pezzo di filo la cui estremità opposta viene assicurata attorno al torace della femmina.

Libera di camminare sul pannello, essa di solito si tranquillizza dopo pochi secondi di agitazione. Tale pannello viene quindi appeso mediante del filo di naylon, alla estremità di un ramo, fuori dalla portata degli insetti e degli altri predatori, e viene lasciato libero di oscillare al movimento dell'aria; questa oscillazione riesce anzi ad intimorire alquanto gli uccelli che non le si avvicinano.

Le falene si accoppiano al tramonto; la mattina dopo, la femmina viene trasferita in un grande sacchetto di carta, dove essa deposita le sue uova in due file parallele. Dopo che questo è accaduto, la carta del sacchetto viene tagliata in quadretti, su ciascuno dei quali si trova uno o più uova.

Questi quadretti sono poi assicurati con pezzetti di nastro di cellulosa autoadesiva Scotch alle foglie delle piante di cui le larve si alimentano; è anche utile contornare la foglia o la zona con sacchetti di carta, aventi lo scopo di trattenere la larva che prenderebbe a vagare, quando le uova si apriranno. Se, oltre al fatto che le operazioni siano state condotte con la massima cura, non mancherà una certa fortuna, dopo un certo tempo, le larve si svilupperanno e la metamorfosi dell'insetto avrà inizio.

A volte l'esperimento ha successo, ma più spesso fallisce. Le uova possono infatti risultare sterili, oppure possono intervenire delle malattie od, ancora, il cibo somministrato può essere inadatto. La legge di Murphy che afferma che se qualche cosa può andare nel modo errato, prima o poi ciò accade, non fa eccezioni nemmeno nel campo dell'entomologia.

I fallimenti però possono risultare altrettanto interessanti come gli stessi successi, in quanto propongono problemi nuovi, alla ricerca di quello che possa essere andato male negli esperimenti, quando ciò sia accaduto, come e dove.

Nel caso del tentativo di incrocio tra le due falene, trovai diverse difficoltà, ma venni alla fine premiato da un bell'esemplare di ibrido, che portava le caratteristiche delle due specie dalle quali era derivato: le sue ali presentavano un colore degradante, dal verde vivo al blu verdastro e giungevano ad un rosa alla estremità delle ali, passando per l'arancione. Penso che questa sia la sola generazione al mondo che presenti questa combinazione di colori.

Il Colonnello Schroeter spiegava che, gran parte dei Lepidotteri, si accoppiano prontamente anche in cattività; in una sola stagione egli stesso allevò più di 5000 individui. Le uova giungevano a lui, da ogni parte del mondo, inserite talvolta in penne d'oca od in alcuni strani contenitori.

I bozzoli gli giungevano dal Sud America in scatolette di Balsa mentre erano confezionati in cilindri di bambù quelli provenienti dall'Oriente. Poiché esiste negli Stati Uniti una legge

che persegue una indiscriminata importazione di insetti, il governo ha concesso a Schroeter una speciale licenza di importazione, soggetta comunque a controlli abbastanza severi. Schroeter raccomanda:

> Non lasciatevi scoraggiare nel vostro hobby per la entomologia dalle limitazioni esistenti nella importazione del materiale dai paesi stranieri, potete sempre collezionare esemplari di specie locali, con uguale soddisfazione e senza il timore di esaurire ben presto le possibili varietà.
>
> I testi di classificazione infatti, elencano migliaia di queste specie ed ogni anno delle nutritissime aggiunte vengono fatte alle classificazioni preesistenti.
>
> Troverete dei bruchi, dovunque vi siano delle piante viventi. La prossima volta che vi recherete per una passeggiata, sia in un parco come in una prateria o semplicemente in giardino od in cortile, non mancate di portare con voi un sacchetto di carta, un pezzo di cordicella, un notes ed una matita.
>
> Ogni qual volta incontrerete un bruco od altro animale simile, annotate una breve descrizione di esso, per quello che riguarda il suo colore, le dimensioni, i semi speciali e le altre informazioni che potranno aiutare voi stessi, od altri a riconoscere la stessa creatura allorché capiterà di incontrarla di nuovo.
>
> Una simile annotazione va poi fatta sul conto della pianta sulla quale l'animale è stato trovato o della quale si stava cibando: meglio ancora se si sia a conoscenza del nome e della natura della pianta in questione. Va anche accertato che venga presa nota della data, dell'orario approssimato e delle condizioni meteorologiche del momento del ritrovamento.
>
> Poi, si cala il sacchetto, con l'imboccatura aperta, sul ramo o sulla foglia o sull'erba nella quale si trova l'animale e si serra con una legatura la imboccatura stessa, per evitare che esso possa sfuggire. Si torna quindi a controllare il reperto un giorno o due più tardi: sarà molto probabile il constatare che tutte le foglie a quell'epoca, saranno state mangiate.
>
> Ove questo accada, converrà trasferire con attenzione il bruco ad una nuova foglia o ad un nuovo ciuffo di erba, come sarà anche necessario ripetere l'operazione dopo lo stesso tempo, ancora per qualche altra volta.
>
> Eventualmente potrà anche accadere che l'esemplare originario sarà scomparso, ed il suo posto sarà stato preso da un

bozzolo o dalla figura mumificata di una ninfa o pupa. Altre volte, più fortunate, potrà capitare di sorprendere il bruco, proprio nel corso della sua operazione della preparazione del bozzolo: in tale caso sarà opportuno prendere note abbondanti del modo in cui esso compie questa funzione e del tempo che impiega ad essa.

Una volta che il bozzolo sarà completo converrà, dopo qualche ora, spezzare il rametto o la foglia sulla quale è fissato, e trasferire il tutto in una piccola gabbia con le pareti di legno, eccezion fatta per quella frontale che deve essere invece rappresentata da un rettangolo di rete metallica a maglie molto fini; una soluzione ancora migliore sarebbe quella della realizzazione con rete finissima dell'intera gabbia ed un espediente conveniente è quello di coprire con questa rete una piccola gabbia per uccelli.

In ogni modo, la gabbia va sistemata in una posizione quanto più possibile vicina al punto nel quale si trovava il bozzolo prima del suo prelevamento: vi sono infatti talune specie di insetti che prediligono i luoghi isolati, mentre altre si trovano assai meglio all'ombra. Giorni o settimane più tardi, a seconda delle specie e della stagione, l'adulto esce dal bozzolo ed i dilettanti vedranno premiata la loro pazienza, nell'osservazione della strana e generalmente bella creatura derivata dal bruco.

Iniziando le osservazioni dalla fase di bruco invece che dalla farfalla, secondo quanto suggerisce il Colonnello Schroeter, gli studiosi saranno in grado di riconoscere, a colpo, tre dei quattro stati del ciclo vitale dell'insetto, vale a dire, quello di larva, di pupa e di adulto. Le annotazioni fatte, possono offrire lo scopo per osservazioni e ricerche future. Potrà interessare, ad esempio, la ricerca di un altro bruco e di un altro bozzolo della stessa specie; con un poco di fortuna potrà anche capitare di incontrarsi in una femmina impegnata alla deposizione delle uova.

Una volta che anche questa sarà stata raccolta e tutti i reperti saranno stati schedati, saranno a disposizione i campioni di tutti i cicli vitali dell'insetto e questa collezione comincerà ad avere un valore scientifico.

Sebbene siano state catalogate migliaia di farfalle e falene adulte, il ciclo vitale della maggior parte di queste specie è an-

cora in attesa di una adeguata descrizione, occasione questa, unica ed ideale per i ricercatori interessati al lavoro originale ed inedito.

Una caratteristica attraente della entomologia dilettantistica, come aveva indicato Schroeter, sta nel fatto che mai si rischia di rimanere a corto di argomenti per impiegare, in parte o nella totalità, le ore libere. La raccolta e l'allevamento degli insetti sono due soli dei molti aspetti di questo hobby; per adattarle allo studio, le collezioni non possono essere lasciate nelle condizioni originarie ed i campioni debbono essere montati e quindi contrassegnati.

Anche questa attività può rappresentare un passatempo veramente interessante per ogni epoca dell'anno. Solo gli esemplari più perfetti debbono essere prescelti per la loro montatura, questi quindi, vanno uccisi e messi da parte, in attesa del primo giorno di cattivo tempo, in cui i ricercatori non potranno recarsi all'aperto per continuare la loro raccolta.

Per prima cosa occorre stordire l'insetto afferrandone la parte inferiore del torace tra pollice e indice e quindi serrandola leggermente. Il torace è quella parte del corpo che si trova immediatamente dietro alla testa dell'animale ed al quale sono collegate le ali.

L'operazione dello stordimento è necessaria allo scopo di impedire agli insetti stessi di dibattersi e ferirsi quando vengono calati nel recipiente apposito, per la loro uccisione. Tale recipiente può essere rappresentato da un barattolo o da una scatola di plastica o di vetro, a bocca larga e munito di un coperchio in grado di assicurare una certa tenuta ermetica.

Al fondo del recipiente si introduce un pezzo di materiale assorbente, quale un pezzo di gesso od anche un ritaglio di feltro o di Moltopren, su cui si versa una cucchiaiata di trielina o di altro prodotto simile; va detto che taluni dilettanti preferiscono veri e propri veleni, piuttosto che dei narcotici ad effetto definitivo, ed usano allora il cianuro di potassio e l'acido cianidrico; ad ogni modo queste preferenze non sono giustificate e comportano anche un certo indice di pericolosità nelle operazioni in corso.

I campioni uccisi vanno conservati in buste triangolari, realizzate piegando un foglio rettangolare di carta secondo le indi-

cazioni fornite in fig. 82. Anche queste buste vanno contrassegnate in qualche modo e numerate, in corrispondenza delle annotazioni fatte sul notes, e relative alle osservazioni.

In una settimana circa, gli insetti uccisi divengono rigidi e, subito dopo, fragili: prima di montarli, occorre pertanto provvedere in modo che possano rilassarsi alquanto per non sprezzarsi nel corso delle operazioni.

A tale scopo, basta introdurre gli insetti essiccati in un recipiente contenente una spugna di gomma, od un altro elemento assorbitore, inumidita di acqua alla quale siano state aggiunte poche gocce di acido fenico o fenolo avente, questo, la funzione di prevenire lo sviluppo, sui campioni, di muffe e di altri microorganismi. Un paio di fogli di carta assorbente inseriti tra l'insetto e la sottostante spugna, serviranno ad impedire che l'insetto stesso divenga troppo umido. Dopo un periodo di altri due o tre giorni, l'insetto è pronto per la montatura.

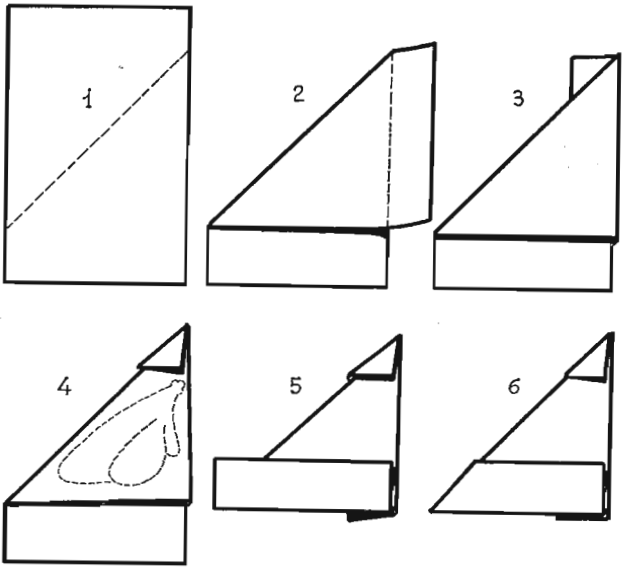
I dettagli di questa fase della lavorazione sono illustrati nella fig. 83.

L'attrezzatura più adatta per le operazioni consiste di un piano sul quale i campioni possono essere distesi, due sottili strisce di vetro, pinzette, forbicine, spilli ed una certa riserva di cartoncino sottile.

Il piano per distendere i campioni può essere ricavato da un blocco di balsa o da altro materiale agglomerato di pari compattezza; la sua superficie superiore deve avere un profilo a « V » molto allargata, con una scanalatura al centro, ossia al vertice, per accogliere il corpo dell'insetto; l'inclinazione dei due semipiani della superficie di questo accessorio permette di compensare la tendenza delle ali ad abbassarsi con il passare del tempo.

Va detto che vi sono in commercio, specialmente importate dal Giappone, delle serie di strumenti per avviare un laboratorio di entomologia e per montare gli insetti; a tale serie di strumenti viene spesso aggiunto anche un certo assortimento di esemplari di farfalle e di altri insetti, per le prime osservazioni ed operazioni.

Per montare gli esemplari, si afferrano questi per la porzione inferiore del torace, se ne allontanano le ali soffiandovi sopra leggermente e quindi, dal disopra, si fa passare uno spillo attraverso il torace stesso. Lo spillo deve essere inserito nell'in-

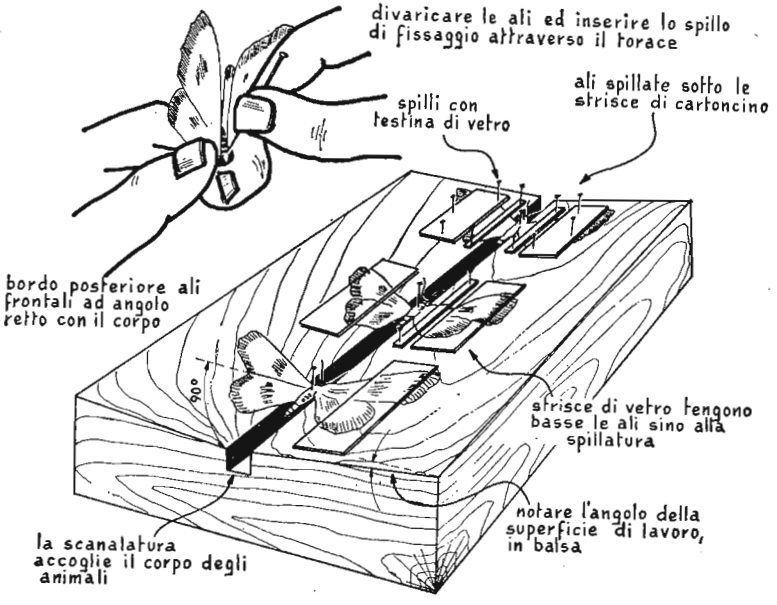


82. Schema di piegatura di un foglio di carta per la preparazione delle buste destinate a conservare gli specimen.

setto in posizione tale da fare in modo che il punto di attacco delle ali risulti a livello con la superficie del piano di lavoro, quando lo spillo stesso sia stato piantato al fondo della scanalatura esistente al centro del piano di lavoro.

Successivamente, si soffia di nuovo sulle ali per divaricarle, si dispone il campione nuovamente sul piano di lavoro, e si appesantiscono le ali, lasciando calare su di esse le due strisce di vetro. Ogni vetrino viene poi sollevato a turno, per permettere la trazione in avanti delle ali anteriori, per mezzo di uno spillo inserito subito dietro alle venature principali.

Quando, poi, il bordo posteriore di tale coppia di ali, risulta ad angolo retto con l'asse del corpo, si provvede ad immobilizzarlo con strisce di cartone e spille nel modo illustrato. Strisce di cartone alquanto più larghe sono poi spillate di fronte ai pesi di vetro. Dopo una settimana circa, gli esemplari saranno nuovamente secchi a sufficienza, per poter essere trasferiti nelle scatole trasparenti che saranno la loro dimora definitiva.



83. Attrezzatura per il montaggio degli specimen. Nella figura, la sequenza mostra le operazioni da compiere sugli specimen nella loro successione.

Uova e pupe vengono montate senza una vera e propria preparazione speciale: si tratta, ad esempio, di incollare semplicemente le uova su rettangoli di carta di colore contrastante; la pupa viene spillata, proprio come si si trattasse di un esemplare adulto.

Una larva deve invece essere svuotata e quindi rigonfiata, prima della sua montatura. Dopo l'uccisione si dispone la larva su di un quadrato di grossa carta assorbente, quindi, con uno scalpello sottile se ne allarga leggermente l'orificio anale; poi, iniziando subito dietro alla testa ed evitando di danneggiare questa, si spingono fuori dal corpo tutti i visceri, facendo rotolare una matita sul corpo dell'animale, con una certa pressione, dalla testa in direzione della coda, da cui i visceri stessi usciranno e potranno essere eliminati.

A questo punto della lavorazione, la carcassa dell'animale si presenterà appiattita ed occorrerà provvedere al suo rigonfia-

mento, magari con l'aiuto di una siringa rappresentata dal tubetto di un contagocce a peretta, di vetro, al quale però la peretta stessa sia stata sostituita con altra di dimensioni maggiori, quale quella di uno spruzzatore da profumo.

L'ugello di vetro o plastica del contagocce, possibilmente molto sottile viene inserito nella apertura anale della carcassa, ed una volta che sia stata accertata la tenuta si effettua l'insufflazione di aria, con una rapida pressione sulla peretta di gomma: con questa operazione la pelle della carcassa si rigonfia prontamente, ma deve essere mantenuta nelle condizioni adatte per un certo tempo, prima che la pelle stessa si secchi e divenga più rigida; a tale scopo, basta occludere l'orificio anale con un pezzetto di nastro autoadesivo od anche con una goccia di cera fusa.

Per una maggiore comodità, in occasione di uno studio successivo, i campioni vengono generalmente spillati al fondo di un cofanetto largo e basso, avente un coperchio di vetro.

Molti collezionisti preferiscono disporre le uova, la larva, la pura e l'adulto di ogni specie, in un gruppo separato dagli altri, altri preferiscono invece raggruppare da una parte tutte le larve di tutte le specie, da un'altra tutte le uova, e così via; questa o l'altra sistematica, dipendono comunque solamente dalle preferenze dei collezionisti.

Esistono diverse pubblicazioni e testi di catalogazione, qualsiasi biblioteca dispone, di solito, di diecine di testi su tale argomento, taluni dei quali addirittura con illustrazioni a colori.

Il Colonnello Schroeter donò la sua intera collezione, di migliaia di campioni, alla Università del Connecticut. J. A. Manter zoologo di questo istituto scrive:

> La collezione di Schroeter è la più pittoresca tra quelle che ho osservate.
>
> Ogni sezione del mondo dei macrolepidotteri vi è rappresentata da rari specimen ed è particolarmente notevole per le sue ottime condizioni di conservazione, ed è di quelle che inevitabilmente strappano parole di meraviglia e di ammirazione dai visitatori quando viene loro presentata la successione delle teche che la contengono.
>
> La devozione del Colonnello Schroeter per l'entomologia dilettantistica ha avuto come risultato quello di un duraturo

contributo alla scienza da cui, le future generazioni di studiosi deriveranno certamente nuove nozioni e piacevoli considerazioni.

William Morton Wheeler, grande entomologo di Harvard, riassumeva un giorno le gioie dei dilettanti con queste parole:

> Dovremmo riconoscere, come fa il dilettante, che il mondo organico è anche una fonte inesauribile di delizia spirituale ed estetica; specialmente negli studi collegiali siamo infedeli alla nostra direttiva se permettiamo che la biologia divenga una disciplina arida ed incolore, vuota di qualsiasi contatto vivo con l'umanità. Saremmo tutti un poco più felici se fossimo meno ossessionati dai problemi pratici ed un po' più accessibili ai richiami estetici ed emotivi dei nostri argomenti materiali: è dubbio se, alla fine, lo sviluppo della scienza biologica venisse ritardato notevolmente o meno. Mi rattrista pensare che, quando attraverserò lo Stige, mi troverò in mezzo a tanti biologi professionisti condannati a continuare la ricerca per la soluzione ai problemi e che Plutone, o chiunque sia adesso in carica laggiù in sua vece, possa condannarmi a stare per sempre seduto, alla ricerca per identificare i campioni ricavati dalle mie annotazioni, mentre gli entomologhi dilettanti, che non sono stati ancora condannati come professori, potessero vagare a loro piacere tra le praterie profumate degli Elisi, catturando splendide e fantastiche farfalle, sino alla fine del tempo.

4

APPLICAZIONE DILETTANTISTICA DELLE FASCETTE AGLI UCCELLI

Assumendo le semplici tecniche relative all'applicazione, alle zampe degli uccelli, di fascette numerate di identificazione ed ottenendo facilmente la qualifica apposita è possibile a chiunque effettuare un considerevole apporto alla scienza, senza allontanarsi nemmeno dal proprio giardino. Sono discussi in questo capitolo vari aspetti di questo hobby; segue poi la descrizione fatta dalla signora John Gillespie di Filadelfia sul modo di avviare questa attività.

Samuel Johnson, persona ostinata sotto ogni aspetto, aveva una teoria secondo la quale le rondini come le rane, trascorrono l'inverno in ibernazione nel fango, sul fondo dei fiumi e dei laghi. A differenza di molte delle sue dichiarazioni però questa non era stata ricavata semplicemente dalla fantasia; il dottore, piuttosto irascibile, aveva condotto effettivamente esperimenti su tale argomento.

Aveva raccolto un certo numero di rondini ed aveva applicato dei pezzetti di stoffa colorata, alle penne della loro coda; egli più tardi raccolse alcune di queste penne contrassegnate e, trionfante, le presentò come prova della sua teoria.

Il buon dottore aveva però trascurato il fatto che gli uccelli mutano le penne, ma questo suo accostamento al problema scientifico non era del tutto senza meriti. La marcatura degli uccelli è oggi una vasta impresa che offre i suoi frutti.

All'inizio del presente secolo gli ornitologhi danesi affrontarono la ricerca dei percorsi e delle migrazioni da parte degli uccelli selvatici con l'espediente di applicare una fascetta di metallo, flessibile e non serrata, attorno ad una delle zampe di un

certo numero di esemplari catturati, tra quelli dei quali interessava seguire le migrazioni.

Un numero di serie ed altre eventuali informazioni, venivano marcate su queste fascette in modo che, dovunque uno di questi uccelli fosse stato ritrovato, le informazioni a suo proposito potessero essere inviate ad un ufficio centrale di smistamento e raccolta. Questo sistema venne ben presto adottato anche in altri paesi del mondo.

Negli Stati Uniti l'organizzazione della fascettatura degli uccelli, avviata dall'Associazione Americana per la marcatura degli uccelli, venne assunta in carica nel 1920 dal Governo Federale. Attualmente, l'iniziativa rappresenta una sezione del servizio per la fauna selvatica, con ufficio centrale al Patuxent Research Refuge, Laurel, Maryland.

Quasi nove milioni di fascette sono state applicate ad altrettanti uccelli, da quando il programma Statunitense ha avuto inizio; l'applicazione procede al ritmo di 300.000 o 400.000 fascette ogni anno. Nel complesso più di 750.000 uccelli in precedenza contrassegnati sono stati ricuperati. Vi sono attualmente, negli Stati Uniti, circa 2000, tra professionisti e dilettanti, che si interessano alla applicazione di queste fascette ed alla raccolta delle informazioni, da esse offerte.

Lo scopo principale di questa iniziativa è quello della raccolta di informazioni scientifiche attorno alle migrazioni, alla distribuzione ed all'età degli uccelli selvatici; essa rappresenta inoltre un valido aiuto nello studio di alcune caratteristiche, quale quella dell'istinto di tali animali a tornare al luogo di partenza, quella delle abitudini relative alla riproduzione, alle capacità di volo, le maniere con cui il volo avviene, e diversi altri schemi del loro comportamento.

Dato che solo una piccola frazione degli uccelli contrassegnati è stata raccolta, appare conveniente che il numero dei soggetti muniti di fascetta sia molto grande, come è pure utile che esistano stazioni di applicazione di fascette nonché stazioni di osservazione e rilevamento, sulla maggiore area possibile: ne deriva l'opportunità di questa attività come hobby, anche per persone che risiedono fuori dai centri, dove sarebbe impossibile esplicare altre attività.

Si tratta infatti di una attività che chiunque può svolgere in

giardino od in cortile, e che può anche essere esplicata in campagna, in occasione di gite ecc. Costa assai poco per la sua conduzione, pur ripagando ampiamente per la varietà delle scoperte. Tutti coloro che si interessano a questa attività debbono ottenere uno speciale permesso, in quanto esistono regolamenti precisi che vietano la cattura di uccelli selvatici, da parte di persone di età inferiore ai 18 anni.

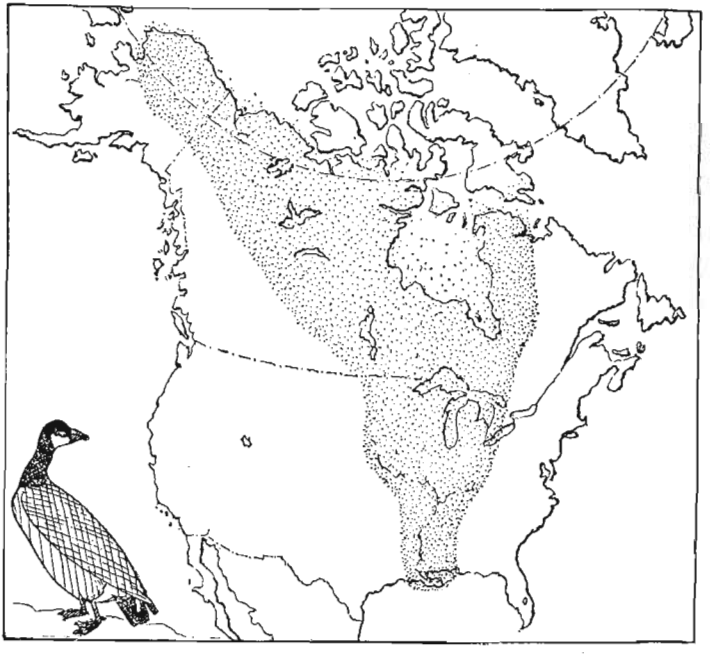
I candidati a questa licenza debbono dimostrare, all'atto dell'ottenimento di questa, di essere in grado di riconoscere specie e sottospecie di uccelli; in più, essi debbono presentare qualche nominativo di persona notoriamente qualificata nel campo dell'ornitologia la quale, in un certo qual modo, garantisca del comportamento e delle intenzioni del richiedente.

Al momento della consegna di questa licenza al richiedente, gli viene anche fornita una riserva di fascette numerate in alluminio flessibile, di varie dimensioni, in vista delle differenze di grossezza delle zampe sulle quali esse dovranno essere applicate; esso riceve altresì anche una serie di libretti di istruzioni nonché dei moduli da riempire per le annotazioni. A volte, negli Stati Uniti, ai possessori della licenza federale, ossia concessa dal governo centrale, è richiesta anche una licenza particolare, ossia concessa direttamente dal governatore dello stato dove l'attività stessa deve essere esplicata.

Trappole, reti per la cattura e qualsiasi altra attrezzatura incidentale, sono invece a carico della persona che esplica l'attività stessa.

Una volta almeno, ogni anno, egli deve fare un rapporto all'ufficio centrale incaricato alla supervisione di questa attività, fornendo tutti i dati richiesti su ogni uccello munito di fascetta lasciato andare e su ciascuno di quelli ricuperati.

La cattura e l'applicazione della fascetta ad un uccello senza dare a questi il minimo disagio né ferirlo, è quasi una vera arte, che nessun principiante può intraprendere senza la guida di qualcuno già esperto in essa. I signori Gillespie erano due dei primi tra gli esperti degli Stati Uniti, secondo quanto dice Lorene McLellan, dell'Accademia di Scienze Naturali, di Filadelfia. La signora Gillespie dice che il numero esatto di anni durante i quali essa ha esplicato questa attività è fuori dallo scopo di questa discussione, ma come involontaria conferma della



84. Uno dei quattro percorsi di migrazione delle anatre canadesi.

sua esperienza, mostra con orgoglio la foto di una starna comune che essa, con il marito, aveva munito di fascetta nel New Jersey, il 5 agosto 1923.

La signora Gillespie informa che una maniera conveniente per applicare le fascette alle zampe degli uccelli è quella di fare questo, quando essi siano ancora nei nidi ed incapaci al volo, a patto però che essi siano già sufficientemente sviluppati da ricevere una fascetta delle dimensioni adatte, ossia grande abbastanza da adattarsi agli uccelli stessi quando questi saranno divenuti adulti. Questo metodo è particolarmente adatto per uccelli che nidificano in colonie piuttosto dense e per le aquile, l'ossifraga ed altri uccelli da preda.

Per gli uccelli da canto, per quelli che si nutrono a terra, per alcuni acquatici, si preferisce un'altra tecnica, traendo vantaggio dalla frode e dall'adescamento. Si provvede infatti a mu-

nire delle trappole di vario tipo con esche particolarmente invitanti. Un uccello che si nutre a terra, quale ad esempio il passero ecc., segue prontamente una scia di cibo che lo conduce ad una trappola.

Talune trappole sono costruite sul principio del labirinto; talune hanno una conformazione ad imbuto, come sono alcune reti per pesci; talune dispongono anche di un meccanismo di scatto che chiude la via di accesso, una volta che l'uccello sia entrato. Vi sono anche altri tipi di trappole, atte a catturare uccelli che non camminano a terra.

Se impiegate con cura ed appropriatamente, le trappole non comportano alcun pericolo per i volatili; in ogni modo nessuna trappola deve essere lasciata « carica » e pronta nello scatto, quando la persona incaricata alla sorveglianza è lontana; nondimeno è utile lasciare le trappole stesse aperte, prive del meccanismo di scatto e piene di cibo in modo che gli uccelli passandovi vicino si abituino ad esse, ed anzi, attingano a volte al cibo, prima che interessi effettivamente catturarli.

Gli uccelli vivono in un mondo pieno, anche per loro, di pericoli e di sorprese, ricorda la signora Gillespie. L'esperienza di essere stati catturati seguita da una rapida marcatura e da una pronta liberazione, comporta per essi un disagio psicologico assai inferiore di quello che essi subirebbero nell'incontro con un gatto. Pochi minuti dopo che questa esperienza è stata fatta essa è quasi del tutto dimenticata.

Gli uccelli però ricordano di solito il cibo e questo ricordo li richiama spesso indietro. Talvolta, un uccello torna ad una trappola cinque minuti soltanto dopo che ne sia stato rilasciato. A volte, qualche esemplare torna a farsi catturare con una tale costanza che il fatto diviene addirittura fastidioso.

L'applicazione della fascetta può essere un'esperienza dolorosa più per la persona che deve effettuarla che per l'uccello stesso. Taluni esemplari dall'aspetto minaccioso quale la ghiandaia blu si sottopongono ad essa opponendosi ben poco.

D'altro canto, i cardinali ed i fringuelli rossi all'apparenza mansueta possono attaccare l'uomo con una tale ferocia che spesso questi deve ritirarsi con segni palesi delle beccate. L'aquila, secondo quanto afferma la signora Gillespie smentisce la sua preoccupante reputazione; i genitori si limitano infatti a svo-

85. Corvo marcato con la fascetta; nell'illustrazione, il metodo corretto per tenere gli animali durante l'operazione e per eventuali esami.

lazzare timidamente alla distanza di 15 metri ed anche più emettendo deboli grida tutt'altro che temibili quando una persona si arrampica sino al loro nido ed eventualmente applica le fascette numerate a qualcuno degli aquilotti.

Ben diversamente invece vanno le cose con i loro cugini, ossia le ossifraghe; un collaboratore dei signori Gillespie, Frederik C. Schmid, venne una volta quasi fatto cadere da un albero, appunto da uno di questi uccelli il quale comunque lasciò un segno profondo degli artigli sul suo viso.

Ogni volta che marca un uccello, colui che si dedica a questa attività registra il numero di serie della fascetta, la località, la data il tipo e la specie dell'uccello stesso, e se possibile anche il suo peso, il suo sesso, e qualche caratteristica particolare del suo piumaggio; allorché qualsiasi uccello catturato, vivo o morto, presenta alla zampina la caratteristica fascetta, il suo ricupero deve essere comunicato al più presto attraverso l'apposito ufficio, il quale si preoccupa di informarne la persona che aveva fatta la marcatura, con i dettagli delle condizioni del luogo, tempo, ecc., in cui l'uccello era stato appunto ricuperato.

In questo modo, colui che si dedichi a questa utile attività accumula storie di diversi esemplari di molte specie. Gli schedari dei signori Gillespie contengono molte centinaia di cartelle, talune delle quali tracciano i cicli migratori di varie specie, relativi a periodi di tempo dell'ordine di 15 anni.

Pochi sono gli uccelli, specie se di piccole dimensioni, che sopravvivono per più di un paio di anni allo stato brado, sebbene la probabilità di vita in queste condizioni prevede una età

massima di 9-12 anni, ed addirittura una età di 18-20 anni per quegli esemplari che sono invece conservati in cattività.

La mortalità si dimostra spaventosamente elevata: tra i giovani uccelli, raggiunge addirittura il 60-80 per cento, durante i primi sei mesi; per conseguenza, molti di coloro che si interessano all'applicazione delle fascette di riconoscimento, preferiscono indicare un tempo maggiore e maggiori sforzi a contrassegnare degli esemplari adulti, le cui probabilità di ricupero a breve od a più lunga scadenza sono assai più favorevoli.

La tecnica dell'applicazione delle fascette di riconoscimento è stata attuata su più di 600 specie di uccelli; nella maggiore proporzione sono state contrassegnate le anatre selvatiche: circa mezzo milione. Nella successione, per quello che riguarda il numero di esemplari contrassegnati, dopo le suaccennate anatre, vengono i rondoni, le starne comuni, le anatre a coda lunga, i gabbiani, i passeri, i pettirossi, gli stornelli e le cornacchie.

Della totalità degli uccelli contrassegnati, i due terzi sono stati appunto contrassegnati da dilettanti mentre, per il terzo restante, le operazioni sono state condotte da parte di professionisti e di incaricati statali.

Anche una percentuale relativamente bassa di ricuperi può risultare significativa e fornisce anzi, talvolta, notizie drammatiche sulle migrazioni degli uccelli. Dal ricupero di appena mezza dozzina di esemplari di questa specie si è potuto intuire che la starna polare nidifica al circolo polare e sverna all'antartico, compiendo un viaggio annuale di migrazione di almeno 40.000 chilometri.

La migrazione avviene in diverse forme: talune specie seguono delle vere e proprie corsie aeree relativamente ristrette, altre invece avanzano su di un fronte della larghezza magari di un intero continente.

Vi sono uccelli che non percorrono mai un tratto più largo di quello compreso tra il fondo di una vallata e le pendici di una collina che si affaccia su questa. Il cardinale non migra affatto: egli anzi si dedica al massimo sforzo nell'intento di conquistarsi un piccolo territorio esclusivo, tutto per sé e, se il clima lo consente, esso sosta su questa zona sino a quando il luogo gli si adatta.

I signori Gillespie hanno dedicato molti studi alle abitudini

di riprodursi e di nidificare degli uccelli comuni che capita di notare nel giardino di casa. Una delle storie da loro annotate riguarda un paio di passeri che capitò loro di marcare durante una primavera.

Questa coppia allevò una nidiata di piccoli; ad un certo momento però questi vennero lasciati nel nido e la femmina si dimostrò interessata nei riguardi di un secondo maschio che, forse pieno di speranza, si era costruito un nido nelle vicinanze, poco dopo, la femmina si unì definitivamente a questi, per formare una seconda famiglia, durante l'estate.

La primavera successiva la femmina tornò all'uccelliera dei signori Gillespie e riprese la routine, con un maschio che apparve già marcato con la fascetta e che pareva il suo primo compagno, anche se questo non si potrà accertare dato che tale bestiola non venne catturata. Ben presto, il maschio abbandonò la femmina lasciandola sola nelle cure dell'allevamento della nidiata.

Di nuovo essa si accompagnò con un secondo maschio e creò una nuova famiglia. Più tardi, in luglio i signori Gillespie catturarono il primo maschio mentre era indaffarato alla costruzione di un nido, in un giardino vicino. Controllata la sua fascetta venne rilasciato, ma tornò di nuovo ad una delle loro gabbie, durante l'estate successiva, mentre la femmina non comparve più. Quello di due o tre anni sembra pertanto il periodo medio di vita di un passero.

« Una volta », diceva la signora Gillespie, « controllammo l'istinto di una femmina stornello americano a tornare al nido. Lo stornello come il cuculo europeo non costruisce nidi e depone le sue uova nei nidi degli altri uccelli; alla femmina di questa specie non manca però un istinto materno o casalingo. Provammo infatti a portare il volatile in diverse località, ad una qualche distanza dal nido ed ogni volta constatammo che la femmina tornava prontamente al nido, una volta lasciata libera. Una volta, essa era stata liberata nel centro di Wilmington, nel Delaware, a 35 chilometri circa dal suo nido, eppure essa risultò tornata al punto di partenza dopo tre ore circa. William I. Lion di Waukegan, nell'Illinois, spedì uno stornello americano munito di fascetta ad un amico a Denver nel Colorado, perché da tale località lo lasciasse libero: venticinque giorni più tardi,

l'uccello risultava rientrato a Waukegan. Molti credono che imprese come queste siano esclusiva prerogativa dei piccioni viaggiatori; invece vi sono molti uccelli selvatici che presentano, nel tornare al luogo di partenza, un istinto ancora più marcato di quello che viene presentato dai piccioni addestrati con cura ».

Una delle conseguenze laterali dell'attività dell'applicazione di fascette metalliche agli uccelli di passaggio è, poi, quella della raccolta e dello studio dei parassiti: tarme, moscerini, acari e pidocchi possono essere rimossi facilmente dagli uccelli catturati, mentre si tengono per la loro marcatura. Uno studioso di questo argomento, con un fratello specializzato nelle ricerche sulla malaria il quale lo aiutò a pralevare campioni di sangue dagli uccelli migratori, riuscì a fornire notevoli informazioni, sul come la malaria poteva essere diffusa da uccelli in funzione di vettori.

I signori Gillespie trovavano particolarmente interessante l'applicazione di fascette alle ossifraghe ed ai falchi pescatori, che presentano il fiero carattere attribuito di solito all'aquila americana. Essi munirono di fascetta 457 ossifraghe ed ottennero relazione di ben 70 ritrovamenti, percentuale questa insolitamente elevata. 40 di essi vennero segnalati già entro pochi mesi dall'epoca in cui erano stati muniti di fascetta, quando si trovavano ancora nel nido.

Taluni vennero ritrovati vicino ai luoghi di origine, diverse stagioni più tardi. I piccoli delle ossifraghe, muniti di fascetta in luglio risultano, di solito, in viaggio verso Sud, durante l'autunno; nonostante questo, un'ossifraga venne ritrovata in Florida meno di sette settimane più tardi dal momento in cui era stata marcata, mentre un suo fratello si trovava ancora in Pensilvania nella seconda metà di novembre.

Mentre sono gradite relazioni sul viaggio delle ossifraghe, « diceva la signora Gillespie », ci dispiace che le informazioni giungano di solito contemporaneamente a quella della loro morte di cui, quasi mai, vengono specificate le condizioni di tempo e di luogo.

Questi uccelli si cibano esclusivamente di pesce e non comportano alcuna vera minaccia per gli altri animali, specialmente da cortile, ma vengono frequentemente uccisi perché vengono scambiati con le più pericolose aquile. Una delle no-

stre ossifraghe, uccisa da un agricoltore nella Virginia occidentale, venne segnalata tra i titoli di un giornale locale, come: « Aquila abbattuta da un cacciatore del luogo ».

Il caso più insolito di ricupero a noi capitato fu quello di un'ossifraga che era stata contrassegnata nella contea di Cape May, N. J. il 6 luglio 1939. Essa pertanto aveva coperto 10.940 chilometri in linea d'aria, nell'epoca compresa tra quella data e quella del 16 dicembre 1939, quando venne abbattuta da un colpo, presso Rio de Janeiro.

Siamo certi che essa poi non volò in linea diritta ma probabilmente sorvolò delle coste e seguì, esplorandoli, i percorsi dei fiumi, così che la distanza totale da lei effettivamente coperta, doveva essere di gran lunga maggiore di quella in linea d'aria.

Il nostro lavoro di marcatura degli uccelli è stato per noi generoso di insolite e varie esperienze. Non vi è nulla di simile all'agitazione in una colonia di nidi, dove l'aria è piena di ali che battono rapidamente e di grida scomposte, dove i giovani uccelli sono presenti dovunque intorno.

Questo nostro hobby, ci ha condotto a spiagge poco frequentate, in profonde boscaglie e su vaste paludi. Abbiamo avuto contatti con persone di ogni tipo, non solo in questo paese, ma anche altrove, nelle Americhe e nelle Indie Occidentali.

Chiunque trova un uccello munito di fascetta, vivo o morto, apporta un notevole contributo al lavoro degli ornitologhi, in-

86. Aquilotto già marcato, ancora nel suo nido.

viando la fascetta stessa al competente ufficio, o qualora non sia informato della ubicazione di questo, alla sede locale dell'Associazione Cacciatori, allegando, alla fascetta, un rapporto sulle condizioni del ritrovamento. Negli Stati Uniti tutti i rapporti vengono inviati agli enti appositi, con sede a Patuxent, Maryland, di cui è stato già fatto cenno.

In ogni caso, occorre comunicare nominativo e indirizzo del ritrovatore, la data e la località del ritrovamento. Se l'uccello era stato raccolto vivo, conviene una volta fatte le necessarie annotazioni lasciarlo nuovamente libero, con la sua fascetta. Dagli animali morti, la fascetta deve invece essere asportata, quindi raddrizzata senza danneggiarne le inscrizioni e poi spedita nel modo citato assieme alla relazione.

Quasi sempre, l'ufficio centrale a cui la fascetta giungerà, risponderà a chi la ha spedita, informandolo delle vicende del volatile a cui essa si riferiva, precisando della data e della località della marcatura, nonché l'indirizzo della persona che aveva condotta l'operazione: vi è infatti l'abitudine, in questa interessante e preziosa categoria di hobbisti, di stabilire un contatto epistolare tra la persona che ha effettuato il ritrovamento e quella che aveva munito il volatile della fascetta.

5

NOTE SUI RETTILI ED ANFIBI

Un modo per trovare una tregua dagli affanni della vita di questo nostro ventesimo secolo è quello della osservazione degli atteggiamenti distensivi dei rettili. Come però si possono tenere vivi, in casa, serpenti, lucertole e tartarughe? In questo capitolo vengono forniti suggerimenti a tale proposito dal professor Robert H. Wilson, Assistente di Igiene Industriale alla scuola di Medicina ed Odontoiatria, presso l'Università di Rochester.

Molti hanno un poco di paura dei serpenti e di altri rettili e non senza ragioni. Dopo tutto vi sono infatti alcuni rettili velenosi e non tutti possono precisare subito quali di questi rettili siano pericolosi e quali invece non lo siano. I rettili sono comunque degli animali interessanti ed il dilettante che dedichi le sue ricerche in questa direzione, per apprendere qualche notizia diretta sul conto di questi animali, trascorrerà ore piacevoli.

Si consideri ad esempio il fatto, ben noto che, nei rettili, manca qualsiasi meccanismo interno per la regolazione della temperatura corporea, per cui tali animali non hanno una vera temperatura costante, e sono costretti ad elevarla o ad abbassarla con il loro stesso comportamento. Lo schema del loro comportamento è affascinante da osservare come lo sono molti altri aspetti della vita dei rettili; il problema è semmai quello di come impostare le osservazioni nelle migliori condizioni.

Non è facile studiare i rettili in natura: gran parte di questi sono infatti sospettosi e fuggono rapidamente al comparire dell'Homo Sapiens. Anche nel Sud-Ovest, vero regno dei rettili a causa della sua desolazione e del clima assolato, gli interessati debbono avere una pazienza illimitata per osservare questi animali presi dal loro essenziale impegno di mantenersi in vita.

Una maniera molto più conveniente per accostarsi a questi animali è quella di tenerli in casa; non si tratta, è vero, di animali domestici nel senso comune di questo termine in quanto non è davvero possibile insegnare ad un serpente o ad una lucertola molte cose più di quella del rispondere e reagire favorevolmente, quando ci si avvicina ad esso, con del cibo.

Il compenso nel tenere questi animali deriva, invece, dall'osservazione diretta delle funzioni vitali di tali creature insolite. L'osservazione di un serpente in piena salute, mentre muta la sua pelle, mi ha sempre affascinato, anche se ormai da una delle finestre di casa mia pendono tante pelli di muta, sufficienti ad oscurare la visuale.

Le attività del corteggiamento di alcune delle piccole lucertole del deserto sono, al tempo stesso, comiche ed affascinanti. Una particolare soddisfazione può poi derivare dall'allevamento di un rettile, dalla sua età più tenera, sino a quando esso abbia assunto le dimensioni dell'esemplare adulto.

Se si ammette il fatto che i rettili hanno speciali esigenze di dietetica, il resto dell'impresa dell'allevamento dei rettili diviene relativamente semplice. In più, questa impresa è veramente economica, ammesso che lo studioso controlli il proprio entusiasmo e la sua tendenza a rendere sempre più numerosa la sua collezione. Dei 40 rettili diversi di varia specie presenti in casa mia, solo quattro sono stati acquistati in un negozio specializzato e si trattava di piccole tartarughe. Il resto dell'assortimento venne acquisito attraverso doni, cambi, allevamenti, ed in parte gli esemplari sono stati direttamente catturati. La prima fase è la più importante nell'avvio della raccolta: ben presto, quando i vicini vengono a conoscenza dell'hobby per questo genere di raccolta, la collezione cresce a vista d'occhio grazie alle frequenti visite, molto probabili nelle località di campagna, dei ragazzi della zona che portano con sé sacchetti di tela e piccole scatole, contenenti a volte dei piccoli tesori, sotto forma di esemplari delle più svariate specie locali di rettili.

L'impresa della cattura dei serpenti è notevolmente facilitata dall'impiego di una mazza da golf, nel modo illustrato nella fig. 87, con un tale arnese è possibile immobilizzare la testa del rettile in maniera che esso possa essere preso direttamente con le mani, fatte scorrere lungo la sua schiena come illustra la

figura apposita. Altro utile accessorio è un retino, realizzato fissando con dei punti, attorno ad un orlo, la imboccatura di un pezzo di tela tubolare su di un anello di grosso filo di ferro, a sua volta ancorato su di una pertica e chiudendo la estremità opposta del tubo di tessuto con una legatura. È utile che l'impugnatura di un tale retino debba essere abbastanza lunga.

L'estremità della rete non chiusa in modo stabile ma, piuttosto, legata con la cordicella, facilita anche la impresa del trasferimento di qualche esemplare dal retino stesso, ad un sacchetto, e specialmente per il trasferimento di qualche esemplare sempre pronto a mordere. Questa rete deve essere profonda in misura sufficiente in modo che mezzo giro del manico chiuda la imboccatura della rete, con una certa sicurezza, pur lasciando uno spazio ancora sufficiente per il serpente al fondo della cavità.

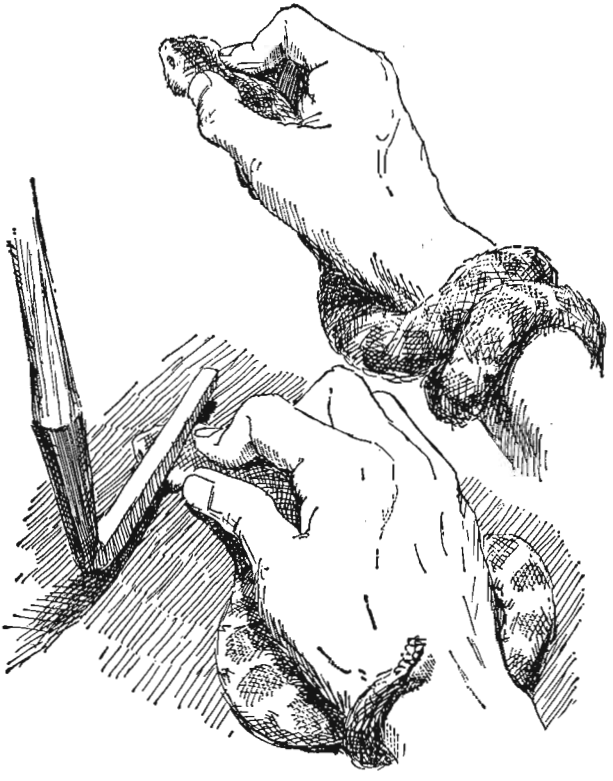
I serpenti si catturano dovunque possono trovarsi: specialmente nelle zone Sud-Occidentali, è facile trovare un numero sorprendente di rettili, specialmente nel corso di qualche girata in macchina chiusa di notte, in una località arida e deserta, e mantenendo una guida piuttosto lenta.

Anche il rovesciamento di grosse pietre e di rami e tronchi in decomposizione può essere fruttuoso. Ad ogni modo queste operazioni non debbono essere condotte con le mani scoperte, nella zona dove vi siano vipere; conviene sempre usare una lunga barra di ferro, od anche un bastone.

La maggior parte delle mie operazioni di cattura di serpenti è stata condotta con la tecnica della mazza da golf integrata dall'uso del retino per raccogliere gli animali. Le trappole non sono invece adatte per le lucertole.

Due tipi di trappole sono illustrate nella fig. 89. Dei pezzi di carne in stato di leggera decomposizione riescono infatti a richiamare quelle lucertole che dispongano di un senso di odorato abbastanza sviluppato. Una semplice trappola a scatola è preferibile per la cattura di questi animali nelle regioni deserte, dove le ombre sono scarse; infatti, tali rettili ricercano di solito le ombre quando il sole diviene troppo forte mettendoli a disagio.

La scatola può avere dimensioni di 60 × 60 centimetri e con l'altezza di 5 centimetri, il fondo può essere rappresentato da



87 Metodo consigliato per afferrare e per tenere un serpente.

un pezzo di sottile rete metallica, mentre il coperchio superiore è bene che sia di legno. Lungo una delle pareti laterali, vanno eseguiti due o tre fori del diametro di 50 millimetri alla distanza di circa 15 millimetri dal fondo della scatola.

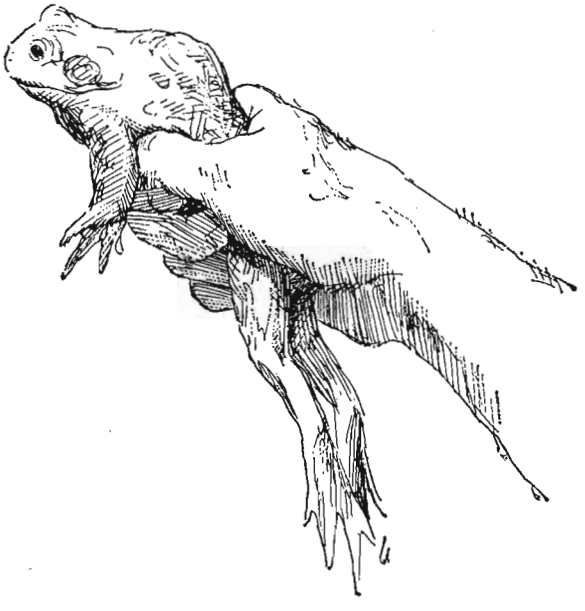
La trappola viene disposta con i fori rivolti dalla parte in ombra, quindi l'insieme viene interrato in mezzo alla sabbia, in modo che le aperture dei fori risultino a livello con il terreno circostante ed anzi, meglio ancora, appena più in basso del piano del terreno stesso.

Anche il resto della scatola viene coperto di sabbia, eccezion fatta naturalmente per la parete nella quale si trovano i fori.

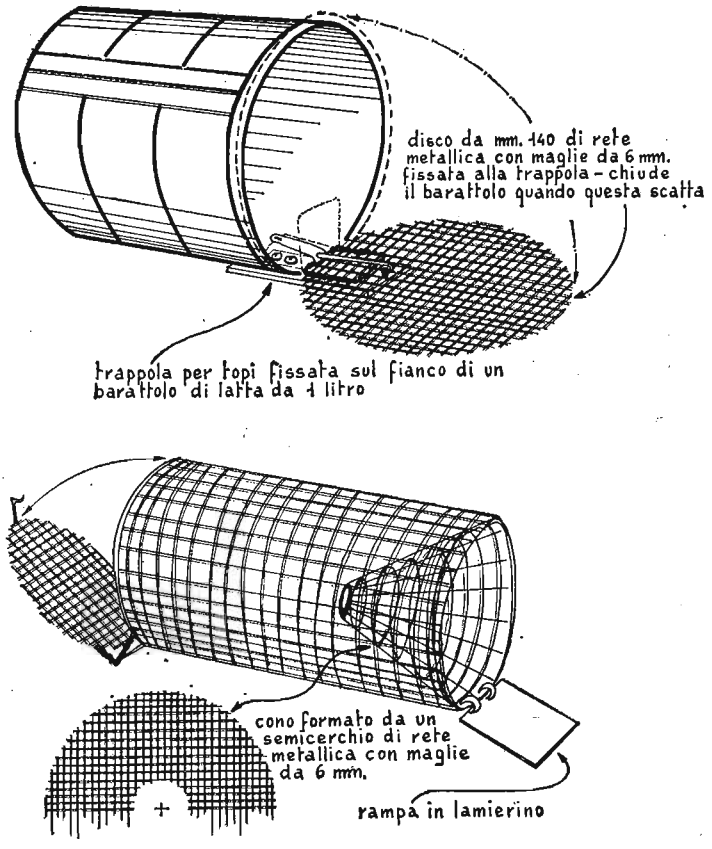
Questo serve ad impedire che la temperatura nell'interno della camera si elevi ad un calore eccessivo specialmente sotto i caldi raggi del sole.

Le lucertole che si avvicinano alla scatola dalla parte di questa rivolta all'ombra non mancano di trovare i fori ed entrare nell'interno della scatola; una volta che vi siano penetrate, vi si tratterranno per diverse ore specialmente se il calore all'esterno sarà molto elevato; per questo sarà utile fare due o tre ispezioni alla trappola, per estrarne gli esemplari che vi si saranno raccolti, prima che il sole scenda troppo sull'orizzonte ed induca gli animali ad uscirsene.

La cattura delle lucertole con le reti rappresenta una impresa incerta, in quanto tali animali sono di gran lunga più rapidi di quanto non sia la persona che deve catturarli in questo modo. Questi animali comunque risultano assai meno pronti a fuggire se vengono avvicinati con un cappio fissato alla estremità di una canna da pesca; il cappio può essere manovrato sulla testa



88. Metodo per tenere una rana senza danneggiarla.



89. Due diverse versioni di trappole per catturare lucertole ed altri piccoli animali.

della lucertola e può essere quindi teso sollevando semplicemente la bacchetta.

È preferibile realizzare il cappio con filo di seta piuttosto che di naylon in quanto questo ultimo materiale tende ad arricciarsi ed, inoltre, presenta una specie di elasticità che può essere dannosa in quanto può permettere al cappio di allentarsi.

Le tartarughe, che sono abituate a prendere il sole trattenendosi su pezzi di legno semisommersi, possono essere prese in trappola disponendo semplicedente quattro pezzi di travicello,

a formare un rettangolo e quindi sospendendo una rete di nylon nell'acqua situata al disotto di questi. Le tartarughe infatti vengono fuori dall'acqua dall'esterno del rettangolo ma possono partirsene dall'interno, particolarmente se il cacciatore si presenta all'improvviso dalla corretta direzione.

Si può impedire alle tartarughe di arrampicarsi sino ad uscire dalla trappola, applicando all'interno dello spazio delimitato dei chiodi puntati verso il basso, tutti con una unica angolazione. La raccolta delle tartarughe deve essere fatta soltanto dopo che si abbia cognizione di quali siano le specie di questo animale che risultino protette, per legge, dalla rapida distruzione; è quindi opportuno assumere qualche informazione a questo proposito, prima di accingersi alla cattura di un esemplare di qualcuna delle specie proibite, come è opportuno liberare immediatamente, nello stesso punto dove ne è stato fatto il ritrovamento, quegli esemplari che, raccolti inconsciamente, risultassero invece appartenenti a qualche specie protetta.

Il migliore sistema di trasporto dei rettili è quello di introdurli in sacchetti di tela della larghezza di 45 e della lunghezza di 100 centimetri; occorre controllare che nell'interno dei sacchi non vi siano fili sporgenti, dato che questi potrebbero portare allo strozzamento dei campioni, mentre è d'altra parte opportuno controllare che in tutti i punti delle cuciture siano sicuri, a prevenire la sorpresa che in qualche punto il sacco stesso si apra, permettendo l'uscita del campione che vi è contenuto. Quando si trasportano rettili velenosi, occore applicare, ben visibile una etichetta di stoffa sulla quale siano fornite le necessarie avvertenze perché la persona che vuota il sacchetto non abbia ad esporsi a qualche morso pericoloso.

Una volta che il campione catturato sia stato portato a casa, si tratta di decidere la sistemazione da dare all'animale: un acquario rappresenta un buon alloggiamento per i rettili di piccole proporzioni, a patto che il contenitore in questione non sia tale da consentire ai rettili stessi di arrampicarsi e sfuggire. L'impiego di scatole di legno è altrettanto buono, comunque è sempre buona norma quella che la scatola sia munita di una parete laterale, in vetro, attraverso la quale sia possibile ispezionare l'interno di essa, senza dover necessariamente aprire il coperchio principale.

Con i rettili non acquatici è anche necessario coprire la scatola con un coperchio abbastanza preciso, che non presenti una vera e propria tenuta ermetica, in quanto occorre assicurare il ricambio dell'aria necessaria alla respirazione degli animali. Occorre accertare comunque che le fessure di areazione siano strettissime, in vista del particolare talento che i serpenti dimostrano nel trovare i più piccoli pertugi.

Io stesso uso diversi tipi di coperchio: in rete metallica, in faesite perforata, a volte in vetro, sollevata di un solo millimetro al massimo dalla bocca della scatola, per permettere la necessaria ventilazione. I particolari del coperchio dipendono in massima misura dall'animale contenuto nella scatola; la rete metallica ad esempio si dimostra inadatta per i serpenti in quanto essi hanno l'abitudine di passare il muso contro questa ferendosi.

Per alcune delle specie più robuste di serpenti occorre, naturalmente, un coperchio più resistente ed a questo proposito può essere segnalato, quale materiale adatto, la faesite temperata di notevole spessore; il coperchio di vetro si usa, di preferenza, quando interessa mantenere ad un livello elevato l'umidità e la temperatura nell'interno della camera.

Molte discussioni sull'allevamento dei rettili accentuano l'importanza che nell'interno delle gabbie siano evitati elementi di effetto e decorativi, avvallate dall'affermazione che l'igiene è un vero problema e la presenza della umidità prodotta dalle piante è dannosa.

Io non convengo del tutto con queste affermazioni: anche le gabbie per questi animali da sistemare in casa dovrebbero risultare di aspetto gradevole; in più gli animali stessi sembrano trovarsi meglio a loro agio in ambienti dotati di qualche accessorio decorativo che, sia pur con approssimazione, richiami loro l'idea dell'ambiente naturale nel quale vivevano prima della cattura.

Si può dividere il tipo di ambiente creato nelle gabbie in ampie categorie, per esempio, deserto, zona temperata o paludosa, e scegliere quindi le piante che più si adattino al tono dell'ambiente. Quando sia messa a punto con proprietà, una gabbia da rettili, può avere un effetto decorativo pari a quello del più bell'acquario.

Va però fatto un avvertimento: i rettili da introdurre in una gabbia decorativa, debbono essere esaminati con cura, alla ricerca di acari od altri parassiti: una volta infatti che gli animali siano stati introdotti nella gabbia, gli insetti si nascondono nelle fessure e risulta praticamente impossibile eliminarli.

Il problema dell'igiene generale può essere affrontato meglio disponendo sul fondo del contenitore, uno strato di 25-30 millimetri di ghiaietta per acquario, ben lavata e disinfettata; in questo modo risulta abbastanza facile raccogliere con una paletta sottile gli escrementi presenti e gli strati superficiali di ghiaia contaminata, rimettendo semmai della ghiaia pulita, per ricostruire lo spessore ed il livello originario.

Molti rettili terrestri presentano la tendenza a rintanarsi in determinate occasioni: la ghiaietta da acquario costituisce un eccellente materiale in quanto cede allo scavo dei rettili con una certa facilità e nondimeno non tende a divenire compatta.

Anche l'illuminazione della gabbia è importante, sia per il benessere degli animali, come anche per una comoda osservazione, dall'esterno, degli esemplari contenuti nelle scatole. La maggior parte dei rettili si trovano nelle migliori condizioni quando sono esposti a temperature leggermente al disopra dei 22 gradi, mentre le specie che vivono nel deserto preferiscono temperature dell'ordine dei 38 gradi: a me è riuscito di ottenere un soddisfacente controllo della temperatura mediante il bilanciamento del calore radiante prodotto dalle lampade ad incandescenza, contro le perdite termiche che hanno luogo attraverso le pareti della gabbia ed attraverso tutti i punti dove avviene una qualche circolazione dell'aria, tra l'interno e l'esterno.

I rettili governano la temperatura del loro corpo assorbendo calore in varia misura, a seconda delle necessità, dall'ambiente circostante. Le lampade ad incandescenza sistemate alla sommità della gabbia come anche l'appropriata sistemazione degli accessori, quali le pietre e vari pezzi di legno a diversa distanza dalla sorgente della luce e quindi anche del calore, danno agli animali la possibilità di scegliere, momento per momento, le condizioni migliori per la loro temperatura corporea.

È sorprendente vedere con quanta rapidità queste creature, che non brillano davvero come intelligenza, apprendono che possono ricevere più calore allorché si portano alla sommità dei

rami più alti nella gabbia. Quando nella gabbia vi sono molte lucertole e viene accesa una forte lampada dopo una nottata fredda, si nota una divertente confusione per la conquista delle posizioni più elevate.

Un'adeguata sorgente di luce e di calore può essere rappresentata da una lampada spot o con riflettore incorporato, della potenza di 75 watt, acquistabile presso qualsiasi buon negozio di materiale elettrico, fig. 90.

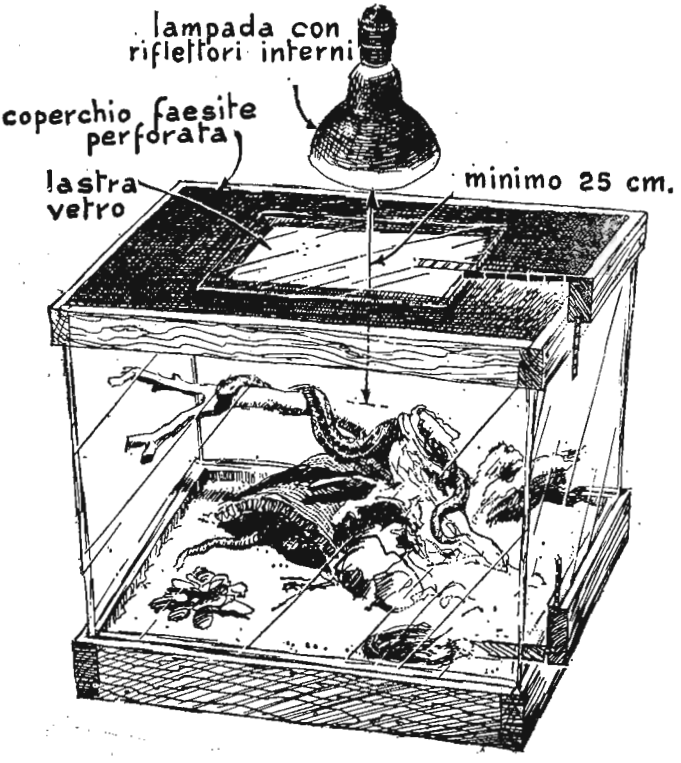
Il riflettore interno alla lampada si dimostra altamente efficiente sia per le radiazioni visibili come anche per quelle invisibili e termiche, vale a dire per le infrarosse; inoltre, la possibilità di proiettare con essa un fascio di luce e di calore abbastanza concentrato, rende possibile l'ottenimento di effetti di luce spettacolari.

Dato comunque che tutta la radiazione risulta concentrata nel fascio, è importante dirigere il fascio stesso in modo che gli animali possano, ove lo desiderino, uscire dal suo cono e quindi evitare di subire un calore eccessivo. Di solito io monto la lampada in modo che la parte frontale del suo bulbo di vetro risulti alla distanza di circa 25 centimetri dal punto più elevato esistente nella gabbia, sulla quale i rettili possano riuscire ad arrampicarsi.

Occorre una certa attenzione per evitare che un calore alquanto concentrato sul vetro che serve da coperchio per la gabbia possa determinare dilatazioni non uniformi di questo e quindi la sua rottura, con qualche pericolo nel caso che i rettili siano velenosi.

Il principale problema nell'allevamento dei rettili è quello di fornire loro la dieta più adatta alle loro esigenze. Taluni rettili sono, ad esempio, vegetariani ed alcune tartarughe ed alcune specie di lucertole, si cibano di lattuga, altre richiedono una alimentazione carnea in varia forma.

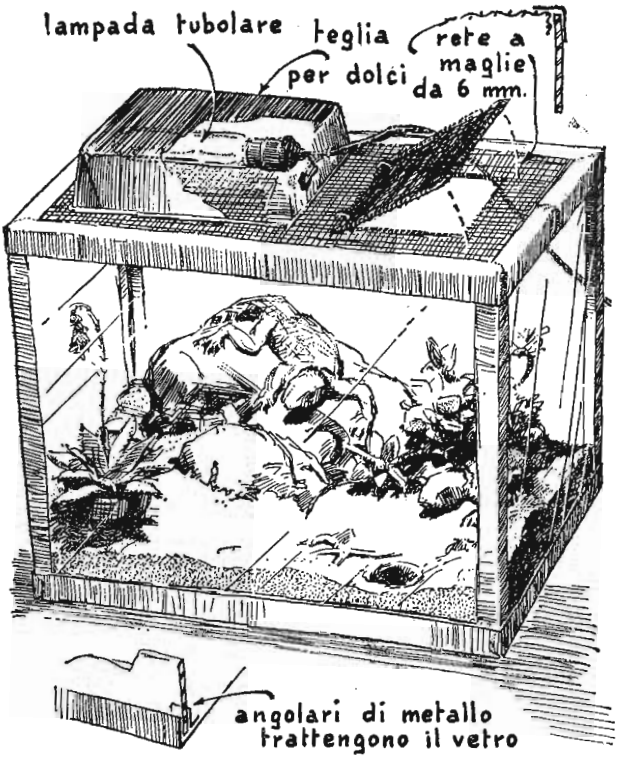
La maggior parte delle tartarughe consumano qualsiasi qualità di carne che viene loro offerta, ivi compreso anche un dito dell'allevatore se questi non è abbastanza pronto a ritirarlo. Il merluzzo ed il pesce persico sembrano particolarmente saporiti alle tartarughe acquatiche. Parecchie delle specie di tartarughe terrestri gradiscono nientemeno che l'alimento preparato in scatola per cani, quale ad esempio, quello della marca Pard.



90. Terrario, realizzato con legno, vetro e faesite perforata.

È importante ricordare che le tartarughe d'acqua, vendute in molti negozi specializzati, sono incapaci a nutrirsi quando si trovano fuori dell'acqua. Le coppe vendute di solito assieme alle tartarughe sono quasi sempre insufficienti; i rettili di questo tipo possono essere tenuti con probabilità di successo in un acquario che misuri almeno 25×30 centimetri di lunghezza.

Nell'acquario dovrebbe esservi uno strato di 15 centimetri circa di acqua, ed una piattaforma sulla quale il rettile possa arrampicarsi quando desidera essere investito dalle radiazioni colorifiche ed un'adatta fonte di calore, quale appunto lo spotlight da 75 watt. Va tenuto presente che anche le tartarughe crescono e talune anzi raggiungono i 25 o 30 centimetri di lunghezza,



91. Acquario modificato e trasformato in terrario per accogliere piccoli rettili.

quando l'allevamento di esse in cattività non comporta loro alcun disagio.

Le lucertole, per la maggior parte, sono insettivore e si nutrono di mosche, farfalle, scarabei, bigatti, cavallette e così via. Tali prede non sono facili da approvvigionare in inverno ed è, d'altra parte, quasi impossibile fare adattare una lucertola ad una alimentazione più convenzionale quale quella rappresentata da carne o pesce.

Tuttavia, vi sono delle possibili soluzioni per il problema: vermi da farina possono essere acquistati nei negozi di civaie; tali vermi, che rappresentano lo stato larvale dell'insetto che fa-

cilmente si trova nei granai e nei pastifici, costituiscono un alimento eccellente per gli insettivori, in quanto forniscono a questi abbondanza delle materie necessarie e somministrano anche le giuste proporzioni dei cosiddetti microelementi.

Di recente ho scoperto che Russel Vance di Lincoln, N. Y. assicura una fornitura per l'anno intero di grilli che probabilmente promette bene di rivoluzionare il metodo per l'allevamento in cattività dei rettili. Non è difficile allevare vermi da farina in quantità sufficiente per servire ad una o due lucertole, ma occorre tenere presente che una lucertola adulta giunge a consumare da 75 a 100 vermi per settimana: questo impone un regime di produzione di questi animali che risulta difficoltoso da mantenere in un allevamento casalingo; in più, talune lucertole non accettano questo tipo di cibo.

Per i grilli però, la storia è diversa: in primo luogo, essi sono di dimensioni maggiori, per cui anche il locale Agamide Africano è già sazio dopo averne consumati tre o quattro; in secondo luogo essi non contengono molta chitina, ossia quella sostanza cornea che costituisce lo scheletro degli insetti.

Se una piccola lucertola viene nutrita con una dieta uniforme di vermi da farina, la chitina presente nei vermi, essendo non digeribile può determinare un vero blocco nel tratto gastrointestinale. I piccoli grilli sembrano però in grado di fornire gli elementi essenziali dietetici in quantità ancora maggiore di quanto possano i vermi da farina.

Le mie lucertole sono infatti risultate in migliori condizioni di salute quando ho mutato la loro alimentazione ed ho preso a nutrirle con i grilli. Il mio unico serpente insettivoro, un esemplare della specie verde liscia, consuma solo grilli, con esclusione di qualsiasi altro alimento.

I serpenti sono, probabilmente, i più affascinanti tra tutti i rettili; tutti i serpenti sono carnivori. In moltissimi casi ciò significa che il nutrimento loro somministrato deve essere fatto a base di topi domestici e di ratti, sebbene i serpenti di acqua e i serpenti rigati si adattino al pesce e consumino di preferenza lemini e pezzetti di pesce, anche se congelato, purché riportato a temperatura ambiente.

Altri serpenti possono essere adattati a consumare carne macinata mescolata a lombrichi da terra, tagliati a pezzetti, e più

tardi potranno essere adattati a consumare la sola carne macinata.

Quando si lavora, come accade a me, in un laboratorio biomedico, l'approvvigionamento di cibo non rappresenta un problema: mi limito semplicemente ad avviare una nuova colonia di topolini da esperimento, in un angolo dello stabulario ed attingo da questa riserva quando ciò mi sia necessario.

La colonia fondamentale esistente nello stabulario produce già un piccolo eccesso di esemplari adeguato a soddisfare le mie modeste richieste; chiunque però può avviare un piccolo allevamento di queste bestiole, già di per sé interessati, per fornire, ad un costo ragionevole, un ottimo alimento per i rettili in cattività.

È invece da sconsigliare l'allevamento dei topi sia pure da esperimento, in qualcuna delle stanze dell'appartamento, dato l'odore che questi inevitabilmente producono e che rappresenta un problema piuttosto grave, per la coesistenza, perfino con la moglie più tollerante e ben disposta.

Delle specie di serpenti reperibili, talune risultano più adattabili di altre alla vita in un terrario casalingo; l'elenco, se è possibile, si inizia col serpente cosiddetto testa di toro, animale che risulta insolitamente docile: mi è capitato di catturare esemplari di questo serpente che, al momento della cattura, sembravano più preoccupati di quelli che già si trovavano nelle gabbie. Vi sono anche i serpenti del granturco, i serpenti dei ratti ed i serpenti a testa di volpe che risultano alquanto più inquieti, ma che si adattano ancora ottimamente alla cattività.

Un piccolo esemplare di ottimo aspetto è quello con il ventre rosso che cresce sino ad un massimo di 25 centimetri, tale specie richiede per l'alimentazione una dieta costante di ghiozzi o di lumache di giardino (di colore marrone, non quelle grigie), facilmente allevabili su di una lettiera e con pastone da polli come alimento.

Vi sono alcuni serpenti del tipo a frusta, che è meglio lasciare dove si trovano in quanto risultano molto irritabili e nervosi e mordono con ferocia. Le specie velenose debbono poi essere del tutto ignorate, data l'estrema difficoltà di trattare con essi, anche per quanti abbiano molta dimestichezza con i rettili in genere.

Anche per quello che riguarda le vipere, va detto che si tratta di animali interessanti ma il pericolo che la loro presenza comporta è assai grave; per di più, allorché qualcuno del vicinato viene a sapere dell'esistenza di questi animali nel quartiere, vi sono anche molti pericoli di qualche sorpresa da parte della polizia in vista di un reato ben preciso, quello di detenzione di animali velenosi e pericolosi, in luogo abitato, senza le infinite precauzioni per la sicurezza.

Forse la voce più importante nella dieta dei rettili è quella di una adeguata somministrazione, con essa, di vitamine. In pratica, tutti i rettili adorano il sole e per questo, in cattività, debbono ricevere una dose aggiuntiva di vitamina D, per compensare il quantitativo che non viene prodotto direttamente nel loro organismo in assenza di radiazioni utraviolette solari; il sistema da me adottato e che si dimostra abbastanza efficace, prevede l'aggiunta di due o tre gocce del prodotto polivitaminico « Abdec » ogni 50 grammi di acqua da bere loro somministrata; questa soluzione polivitaminica si sta dimostrando adattissima anche per i rettili.

L'effetto delle vitamine può essere molto evidente; un rettile anche se in semiletargo può divenire un bruto affamato, pronto a divorare quasi tutto, dopo due giorni dalla somministrazione diretta di una o due gocce di « Abdec ».

Una volta che un rettile sia in buone condizioni generali, il piccolo quantitativo di polivitamine sopra indicato somministrato attraverso l'acqua da bere, appare sufficiente. Le tartarughe sono particolarmente sensibili alla mancanza di vitamine per cui conviene somministrare loro direttamente una dose della misura sopra indicata, ogni mese circa.

I rettili possono ricevere l'acqua in diverse maniere, in dipendenza della loro specie. Un serpente ad esempio preferisce bere da un piatto largo, di dimensioni adatte per accogliere la sua testa ed una porzione ugualmente lunga di collo. Talune lucertole bevono da un piattino, altre da una bottiglietta inclinata piena di acqua.

Per taluni, quali gli anoli o « camaleonti da circo », la somministrazione deve essere fatta con un contagocce, oppure spruzzando l'acqua sui rametti e le piante che vi sono nella gabbia.

Chi conserva in casa propria dei rettili vivi può difficilmente

evitare di considerarne il comportamento. Anche se in misura assai ridotta, infatti, i rettili sono individualisti e non si può fare a meno, considerandoli, di attribuir loro una qualche forma di personalità: ogni animale risulta infatti titolare di un comportamento distinto, che dipende in parte da un atteggiamento istintivo ma che d'altra parte è il risultato delle esperienze assunte da questi durante la sua vita: è quindi per lo meno logico che ciascuno dei rettili sviluppi una propria personalità.

I miei tre serpenti rappresentano un esempio eccellente di ciò: tutti e tre erano stati prelevati da un vivaio statale ed a prima vista sembravano perfettamente uguali; eppure, nel loro comportamento vi erano delle sensibili differenze. Uno di essi, che era stato catturato molto giovane e che aveva quindi vissuto in cattività per la maggior parte della vita, si prestava con piacere ad essere maneggiato: esso infatti se ne stava tranquillo per lunghi periodi di tempo, nelle mani di chiunque lo prendesse.

Un altro dei serpenti quasi uguale in apparenza era invece stato catturato in età già matura e sebbene evidentemente soddisfatto dal cibo somministrato e delle condizioni di vita che gli sono state offerte, non si è mai rassegnato ad essere maneggiato e preferisce vagare in giro senza alcuna restrizione quando viene fatto uscire dalla sua gabbia. Il terzo serpente rappresenta una via di mezzo tra i primi due: si concede infatti un giro per la stanza ma preferisce distendersi pigramente una volta che abbia indagato su tutte le particolarità che l'ambiente presenta.

L'avventura di mantenere ed allevare questi animali, aggiunta alla possibilità da ciò derivante di osservare direttamente le loro funzioni, il comportamento e le loro capacità di adattamento all'ambiente che li circonda, rende l'hobby dello studio dei rettili in terrari casalinghi un'attività di grande interesse.

Certamente minimo è il fondamento di nozioni necessarie per avviarlo: io stesso sono un ingegnere e tutta la mia istruzione nel campo della biologia consiste di un solo anno di studio di biologia al liceo. Nondimeno, mi accorgo di avere assimilato un notevole quantitativo di elementi di biologia e zoologia dalla sola pratica.

V.

GEOLOGIA

1. *Impariamo a conoscere le rocce*
2. *Le attrattive della sismologia dilettantistica*
3. *Un sismografo elettronico*
4. *Osservatorio sismologico dilettantistico*
5. *Come si seguono i satelliti artificiali terrestri in volo*
6. *Esperimenti sulla carica elettrica della terra*
7. *Apparecchio elettronico per le previsioni del tempo*
8. *Rilevamento della rotazione della terra*

1

IMPARIAMO A CONOSCERE LE ROCCE

Per il dilettante che comincia a « leggere », nelle rocce, la storia della sempre mutevole superficie della terra, la raccolta di pietre e rocce può risultare doppiamente opportuna. Nelle pagine seguenti sono suggeriti metodi per la classificazione dei minerali in funzione della loro struttura cristallina, delle caratteristiche fisiche e della composizione chimica.

Una volta o l'altra ognuno di noi inizia una raccolta di pietre: si può partire da una semplice pietra di forma insolita, raccolta sulla spiaggia, o da un frammento scintillante di materiale trovato lungo un sentiero di montagna o da un qualsiasi pezzetto di materiale trovato dovunque che per qualche motivo attraeva lo sguardo. Forse, il frammento era di natura vetrosa, e trasparente e con striature o macchie gialle. Poteva trattarsi di oro? Una pietra dopo l'altra molte vengono portate a casa e così la collezione aumenta, talvolta giungendo a dimensioni notevoli.

A questo punto l'interesse svanisce ed un bel giorno, magari durante l'epoca delle pulizie primaverili, l'intero assortimento viene rovesciato nel recipiente dei rifiuti o nella migliore delle ipotesi diviene il bordo decorativo di un'aiuola fiorita.

Molto differente sarebbe stata la storia di questa collezione se coloro che la stavano realizzando avessero dedicato qualche ora ad apprendere come possano essere lette le storie scritte sulle pietre e le rocce. Migliaia di dilettanti mineralogi hanno appreso questi facili elementi, molti dei quali con un'attrezzatura ristretta, come una vista attenta, la normale curiosità dei

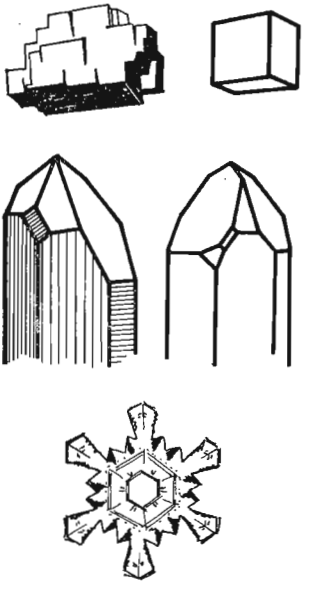
ricercatori ed una diecina o più di adatti testi sull'argomento. La raccolta, lo studio e l'esecuzione di esperimenti con i minerali, sono attività che possono essere esplicate durante l'intero anno e pochi altri passatempi offrono tale varietà di interessi ed impegni.

È stato detto che una pietra, esaminata da vicino, appare come una montagna in miniatura. Questa affermazione in relazione a molte pietre è proprio vera. Se un frammento di comune granito ad esempio, viene osservato sotto una lente d'ingradimento, di potenza adeguata, la sua superficie di colore grigio o rosa s'interrompe in innumerevoli caratteristiche piccole ma interessanti. Taluni punti hanno la forma di cristalli di squisita fattura, di durezza prossima a quella delle pietre preziose. Altri punti sono di minore durezza e possono essere suddivisi in sottili lamine. Altri ancora presentano un'apparenza lattiginosa e si rompono in frammenti che assumono la forma a spirale di una conchiglia di mare. In taluni campioni, la piccolissima montagna di granito appare come fratturata e riunita insieme, con altre caratteristiche che sono riprodotte in scala enormemente maggiore nelle vere montagne.

Una volta entrati nello spirito dell'hobby, potrà capitare la fortuna di reperire un minerale di valore e pertanto, sempre in miniatura, si sarà sfiorata la ricchezza. Incidentalmente, dal momento in cui il dilettante ai primi esperimenti avrà analizzata mezza dozzina di pietre, sentrà molto aumentato il suo rispetto per la semplice e ristretta apparecchiatura.

Tra i costituenti invisibili all'osservazione diretta, il granito contiene, sotto forma di uranio, tanta energia atomica da essere sufficiente non solo a fondere l'intera pietra, ma anche a raffinare gli elementi chimici di cui essa è composta ed a ricombinare questi in qualsiasi sostanza desiderata.

La tecnologia non è ancora giunta a trarre vantaggio da queste possibilità, ma con lo sviluppo del reattore nucleare del tipo « breeder » sappiamo ormai come « bruciare le rocce » ed eventualmente possiamo imparare a prepararle per le nostre necessità. Secondo quanto dice Elisabeth Morley, fervente dilettante di mineralogia ed, in precedenza, insegnante scolastica a Filadelfia, Pensylvania, « vi è nelle rocce e nelle pietre, anche nella più comune trovata sulla spiaggia, qualcosa che at-



92. Tipiche forme cristalline di minerali: *in alto,* galena; *al centro,* quarzo; *in basso,* cristallo esagonale di neve.

trae l'occhio, immensamente di più di quello che si può trovare con un martelletto e la bacchetta di geologo ».

La collezione di minerali della signorina Morley, che include campioni che vanno dal talco al diamante, ebbe inizio in un giorno del 1922 in cui uno dei suoi allievi di terza media chiese il permesso di mostrare in aula un apparecchio a galena. Il cristallo di galena che rappresentava l'elemento rivelatore dell'apparecchio carpì l'attenzione della signorina Morley: una volta che il sottilissimo filo metallico, detto « baffo di gatto », era stato posto in contatto al punto giusto del frammento, sembrava che la musica, sia pure attraverso all'auricolare, venisse fuori dalla pietra.

La signorina Morley non si rimise mai completamente dalla meraviglia di quel momento e decise immediatamente di apprendere il perché ed il come di quella scheggetta di pietra argentea che essa, in quel momento, non avrebbe nemmeno saputo nominare.

Mentre apprendeva che la galena condivide con altri minerali la caratteristica di condurre la corrente elettrica più facilmente in una direzione che nell'altra, ella apprese anche che tale materiale quando viene percosso con un forte colpo, si frattura in tanti frammenti aventi la forma di cubo, che chimicamente essa consiste di un composto di zolfo e piombo, che presenta una durezza di 2,5, il che significa che può essere rigata con l'unghia, e che ha il peso specifico di 7,6.

Comunque, la scoperta che trasformò la signorina Morley in una dilettante mineraloga, è stata quella che il regno minerale, similmente ai regni vegetali ed animali, ha una tassonomia propria che definisce le differenze tra i vari individui con una definizione pari a quella con cui la tassonomia inquadra l'uomo in una categoria biologica ed i pesci rossi del suo acquario, in un'altra.

I minerali sono oggi classificati in accordo con la loro composizione chimica; quanti muovono i primi passi debbono ben presto apprendere il sistema della classificazione. Sotto questo sistema, la maggior parte dei minerali può essere catalogata inquadrandola tra una delle seguenti specie: solfuro, ossido, halide, carbonato, borato, fosfato, solfato, tungstato, molibdato, uranato o silicato. In ciascuna delle specie rientrano migliaia di minerali specifici, sia di carattere metallico come non metallici.

Tutti i minerali sono composti chimici derivati da due o più dei 92 elementi esistenti in natura. Nove elementi sono interessati ad una grande quantità di minerali e riescono a costituire il 95% dell'intera crosta terrestre. Essi sono: l'ossigeno, il silicio, l'alluminio, il ferro, il calcio, il sodio, il potassio, il magnesio e l'idrogeno.

In aggiunta a questi ve ne sono altri tre che, sebbene esistenti in minori quantità, sono dei componenti importanti dei minerali: il carbonio, il cloro e lo zolfo.

Dato che la maggior parte dei minerali è composta da pochissimi elementi, molti campioni possono essere identificati a prima vista. Più del 99% degli specimen raccolti dal dilettante medio può essere analizzato senza complesse apparecchiature e difficili metodi. Altri invece richiedono un esame più accurato; tale esame comincia di solito con una prova per la misurazione della durezza. La scala standard delle durezze da 1 a 10 si basa

sulla durezza relativa di una serie di minerali, dal più tenero al più duro, abbiamo:

1) Talco
2) Gesso
3) Calcite
4) Fluorite
5) Apatite
6) Ortoclasio
7) Quarzo
8) Topazio
9) Zaffiro-corundum-corindone
10) Diamante

Sono a volte in vendita, prevalentemente all'estero, delle scatole per la prova delle durezze, contenenti appunto i campioni dei primi nove dei minerali sopra elencati, in una confezione particolarmente conveniente per la loro utilizzazione in laboratorio. Delle ditte specializzate per questa vendita, si possono citare: la Ward's Natural Scienze Estabilishment, di Rochester, N. Y. e la Eckert Mineral Research Co, di Florence, nel Colorado. Con qualche piccola esperienza, il dilettante può comunque stabilire con una buona approssimazione il grado di durezza di molte sostanze, con il solo ausilio dei materiali più comuni.

I minerali di durezza 1, ad esempio, si frantumano facilmente quando sono stretti tra le dita e, di solito, si presentano untuosi al tatto. Quelli di durezza 2 possono essere scalfiti con un'unghia. Uno spillo comune incide delle tracce sui minerali di durezza 3, mentre quelli di durezza 4 cedono facilmente sotto la lama di uno scalpello. I minerali appartenenti al gruppo con durezza 5 della scala si lasciano incidere difficilmente dal coltello, mentre quelli del gruppo 6 riescono addirittura a scalfire la superficie della lama del coltello ed a determinare la rapida distruzione del filo di esso.

Le porzioni di maggiore durezza, nel granito, di solito rappresentati dal quarzo, presentano una durezza 7 rispetto alla scala. Così un frammento di granito è utile nella valutazione della durezza di minerali ad di là del grado 7. La prova della durezza deve però essere fatta su di una superficie di granito di recente frattura, magari rompendo un piccolo spigolo ad uno specimen; questo per il fatto che con l'andare del tempo interviene un processo di alterazione superficiale sia fisica che chimica.

Una volta accertata, od anche valutata con approssimazione, la durezza del minerale, il mineralogo esegue la prova della striscia: il campione in esame viene sfregato sulla superficie di un piccolo rettangolo di materiale duro, quale la porcellana non vetrificata né smaltata o materiale equivalente in porosità e durezza. Di solito si preferisce, per queste prove, la porcellana bianca (ottimi i frammenti di piatti). Tale operazione permette allo studioso di vedere il vero colore dello specimen esaminato: per esempio una pietra che, all'osservazione diretta, appare marrone, lascia in effetti una striscia rossa sulla porcellana bianca. Questo colore, assieme alle informazioni sulla durezza del materiale ed alle altre prove, riesce a guidare il collezionista nella identificazione del campione, con l'aiuto anche di notizie di riferimento rilevate dai testi sull'argomento.

Successivamente va fatta una valutazione di altre caratteristiche fisiche generali dei campioni. Taluni minerali possono essere, ad esempio, appiattiti con un martello e sono pertanto detti malleabili; altri, come il rame allo stato nativo, possono essere allungati e sono pertanto duttili. Se lo specimen può essere tagliato con un coltello come un pezzo di pece dura oppure si spezza sotto un forte colpo, viene detto settile. Quelli che si piegano facilmente e rimangono curvati, vengono detti flessibili. Talune forme di pietra arenaria presentano appunto questa caratteristica, non appena estratte; altre invece sono fragili e si frantumano come il vetro quando vengono colpite con un martello o sono piegate oltre ad un certo punto di cedimento. Vi sono infine molte qualità di minerali, quale la mica, che si dicono elastici, vale a dire che, dopo avere subito una curvatura anche stretta si raddrizzano e tornano alle condizioni naturali di partenza, al termine della sollecitazione.

La successiva prova per la identificazione dei minerali è quella della misurazione della densità che può essere spesso valutata con uno speciale ma semplice processo di pesatura. Non occorre peraltro alcuna bilancia sensibile per distinguere un blocco di gesso da un campione di piombo. Un dilettante alquanto evoluto può costruirsi facilmente una bilancia speciale per la determinazione della gravità specifica con un'accettabile accuratezza: si tratta di appendere ad un gancio, per mezzo di una molla cilindrica o di un elastico, un piattello in modo

che esso risulti perfettamente orizzontale; al fondo di questo, poi, se ne appende un altro, con del filo rigido, in modo che risulti alla distanza di pochi centimetri al disotto del primo. Si appende poi il sistema ad un braccio o ad una staffa in posizione corretta, per cui il piattello inferiore venga a trovarsi alla distanza di alcuni centimetri, al disopra di una superficie piana, quale il piano di un tavolo.

Poi si dispone un recipiente ad imboccatura larga, e di piccola altezza, al disotto della bilancia, in modo che il piattello inferiore della coppia possa risultarvi immerso ad una profondità maggiore di quella che è l'altezza massima del campione di minerale.

Si tratta di misurare con la maggiore precisione possibile la distanza esistente tra il bordo del piattello superiore ed il piano del tavolo o della superfice piana al disopra della quale il sistema come si è detto si trova, quindi si identifica questa distanza con il simbolo N'. A questo punto si dispone il campione in esame nel piattello superiore, ossia in quello che deve rimanere all'asciutto e si misura di nuovo la distanza tra il piattello e la superficie piana, il cui valore si identifica con il simbolo N". Infine si trasferisce l'intero quantitativo del campione in esame dal piattello superiore a quello inferiore, tenendo presente che il recipiente sottostante deve contenere tanta acqua da riuscire a coprire completamente il campione stesso. In queste condizioni, si misura la distanza tra il bordo del piattello superiore ed il solito piano del tavolo e la si identifica questa volta con la sigla N'''. Una volta raccolti questi elementi, la gravità specifica del campione viene rilevata applicando il seguente calcolo:

$$\text{Gravità specifica} = \frac{N' - N''}{N''' - N''}.$$

La gravità specifica dei minerali varia da 1,7 per il borace ad 8,1 per il cinabro ed anche a più. La gravità specifica dello zolfo è di 2,05, quella del gesso 2,3, del quarzo 2,66, del feldspato da 2,6 a 2,75, del talco 2,8, del diamante 3,5. Le densità dei metalli invece coprono una gamma assai più vasta; sono qui elencati alcuni dei più comuni di essi: magnesio 1,8, alluminio 2,5, zinco 7,1, argento 10,6, oro 19,3, platino 21,5. Paragonando la gravità specifica dell'oro con quella del quarzo, prin-

cipale costituente della sabbia, si può vedere perché i granuli e le pagliuzze di oro si depositano, più rapidamente della sabbia, nel piatto del cercatore d'oro e perché la bilancia di Jolly era divenuta il simbolo e l'insegna del saggiatore di metalli preziosi durante i giorni della corsa all'oro.

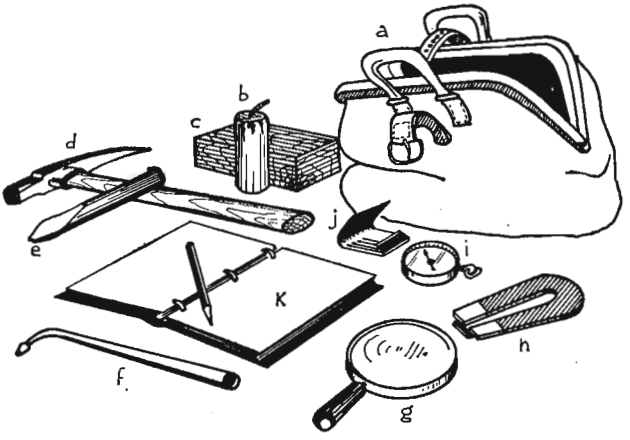
Altri elementi per la identificazione del tipo dei minerali possono essere l'aspetto nel quale essi si presentano alla luce, sia diurna che ultravioletta, le loro caratteristiche elettriche e magnetiche, il loro eventuale odore ed il loro sapore.

I minerali riflettono, assorbono e trasmettono le varie lunghezze d'onda della luce in funzione della loro struttura chimica. Ne deriva che ciascuno presenta una caratteristica conformazione di superficie e di colore. Taluni, come il minerale argenteo che va sotto il nome di galena, presentano una brillantezza molto pronunciata a carattere e con riflessi metallici; il colore può andare dal grigio chiaro, al marrone scuro, al rosso porpora.

Altri ancora, principalmente quelli non metallici, presentano una superficie levigata vetrosa in una gamma che si estende sino al colore perlaceo e satinato, nonché ad una parvenza di pajettes.

Una delle più sorprendenti caratteristiche ottiche di molti minerali è quella della fluorescenza; molti di essi infatti, esposti alla luce ultravioletta, emanano una luce propria, più o meno vivida, dai colori caratteristici.

Il fenomeno era stato osservato per la prima volta come proprietà della fluorite molti anni addietro. Sfortunatamente la fluorescenza non risulta molto utile dal punto di vista dell'analisi: taluni specimen di un dato minerale brillano prontamente di luminescenza, mentre altri dello stesso minerale non presentano alcuna attività di fluorescenza. Taluni minerali rispondono solo ad una gamma limitata dello spettro dell'ultravioletto mentre altri rispondono all'intera gamma. Eccezion fatta per pochi rari esempi, quali una qualità di willemite, originaria di una zona degli Stati Uniti, la quale emette una vivida luminescenza verde, la fluorescenza, come si è detto, non può essere utilizzata, almeno per il momento, per scopi pratici di analisi. Nondimeno, ben pochi sono i dilettanti mineralogi che non possiedono qualche semplice attrezzatura per la produzione di raggi ultravioletti per mostrare alcune reazioni spettacolari di molti minerali.



93. Attrezzatura tipica per mineralogo dilettante.

Alcuni minerali presentano caratteristiche elettriche. La galena, come detto in precedenza, presenta una resistenza maggiore al flusso di una corrente che l'attraversi rispetto a quella che presenta ad un flusso in direzione opposta; essa pertanto costituisce un vero e proprio raddrizzatore e può essere usato per la rivelazione delle radio onde e per applicazioni elettriche analoghe.

La stessa proprietà è anche una delle caratteristiche di certi composti a base di silicio, germanio, uranio ed altri. Il quarzo e la tormalina, nella loro forma cristallina, presentano quella che viene definita la piezoelettricità, un effetto elettrico prodotto dalla compressione e dalla distorsione dello specimen. Tale proprietà, più il fatto che il quarzo è uno dei materiali più elastici tra quelli naturali, giustifica l'uso esteso di questo minerale per la generazione di piccole correnti alternate a frequenza costante. Sottili piastrine di quarzo, opportunamente montate in un circuito elettrico, possono essere messe in condizioni di vibrare ad un ritmo di 50 milioni di volte al secondo; orologi elettrici azionati da oscillatori elettronici pilotati a quarzo riescono a mantenere una precisione tale da presentare una deriva inferiore ad un secondo ogni anno.

La magnetite è il classico esempio del minerale magnetico;

questo magnete naturale attrae i frammenti di ferro e di acciaio ed, anche in altre maniere, si comporta come farebbe una calamita permanente a ferro di cavallo. Quando viene ridotta in polvere, le particelle che la compongono tendono a mantenersi in contatto ed un poco di limatura di ferro cosparsa su una carta disposta al disopra di un frammento di magnetite si dispone nella forma delle linee magnetiche che si irradiano dal campione. Altri minerali contenenti ferro, nichel o cobalto, presentano ugualmente proprietà magnetiche, taluni risentendo semplicemente dell'attrazione da parte di un vero magnete ed altri, quale la magnetite, comportandosi essi stessi da veri magneti permanenti.

Per ciò che riguarda il sapore e l'odore, la alite, nome questo con cui i mineralogi identificano il comune sale da cucina ha, naturalmente, un sapore salato; molti composti a base di potassio, presentano invece un sapore amaro; alcuni di quelli che contengono alluminio danno alla bocca una sensazione di caustico; molti composti di ferro hanno un sapore aspro; alcune qualità di gesso ed altri composti contenenti zolfo emettono, allorché frantumati, l'odore delle uova avariate; talune argille presentano un odore terroso abbastanza netto; taluni minerali contenenti arsenico emettono invece un odore di aglio.

Una matita, un blocco notes ed un testo sull'argomento costituiscono tutta l'attrezzatura di cui un principiante abbisogna per avviare le sue prime esperienze in mineralogia; ma non appena egli si sarà addentrato nelle ricerche, non potrà non desiderare altri semplici oggetti e strumenti. Uno di essi è un sacchetto di tela leggero e robusto, possibilmente con uno o due manici. Subito dopo viene uno speciale martelletto da geologo, ossia uno di quelli con un'estremità della testa piatta ed una costola tagliente per incidere e dividere gli specimen; uno scalpello di acciaio rapido della lunghezza di circa 15 centimetri con bordo tagliente di 15 millimetri circa, una lente d'ingrandimento della potenza di 7-14 diametri, un coltello da tasca, una striscia di porcellana bianca non smaltata, una piccola serie di sostanze chimiche reattive, compreso un piccolo recipiente di acido cloridrico diluito, nitrato o cloruro di cobalto, ed un libro per la raccolta delle impressioni e dei rilievi fatti.

Quest'ultimo può certamente rappresentare l'elemento più

importante dell'intera attrezzatura del mineralogo dilettante, in quanto permette di stabilire una vera e propria storia di ogni specimen raccolto, compresa la posizione dove è stato trovato, l'epoca, le sue caratteristiche, una descrizione di qualsiasi lavoro sperimentale condotto su ciascuno di essi ed i risultati ottenuti a tale proposito.

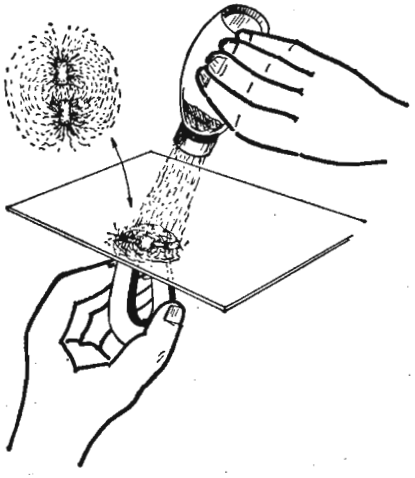
A meno che il dilettante non abbia possibilità di accedere ad un museo od a qualche altra istituzione che disponga di una sufficiente raccolta, un quaderno per tali annotazioni è indispensabile.

Molti dilettanti aggiungono alla loro attrezzatura campale anche una macchina fotografica: spesso infatti una testimonianza circa la posizione geologica e l'ambiente dal quale lo specimen è stato prelevato aumenta notevolmente l'interesse per la raccolta.

Man mano che la raccolta si accresce, essa richiede una sempre maggiore analisi sperimentale sugli specimen, dallo studio della cristallografia di ogni specimen alle prove fisiche e chimiche con le tecniche avanzate del moderno laboratorio. Talune di queste possono essere affrontate con successo da qualsiasi principiante che abbia a disposizione un poco di spazio libero sul banco di lavoro.

Un semplice cannello ferruminatorio, ad esempio, offre risultati molto importanti; occorre una fiamma, quale quella di una candela, di un fornellino a spirito, o di un bruciatore Bunsen, un blocchetto di carbone di legna possibilmente forte, un poco di borace polverizzato, un corto pezzetto di filo di nichelcromo, nonché un cannello ferruminatorio con un ugello sottile. Quando si soffia nel tubo, si provvede a dirigere la fiamma della candela in direzione dei piccoli frammenti del campione che si sta esaminando; taluni minerali si fondono prontamente mentre altri resistono alla fiamma più calda ed altri ancora, esposti al calore, subiscono qualcuna delle molte possibili alterazioni.

La fiamma del cannello ferruminatorio è composta da due coni concentrici, di cui uno esterno di colore violetto pallido, quello interno di colore blu luminoso; quello interno delimita una zona di fiamma in cui vi è deficienza di ossigeno; quando vengono esposti al calore di questa sezione di fiamma, molti ossidi metallici cedono alla fiamma stessa, o meglio ai gas carbo-



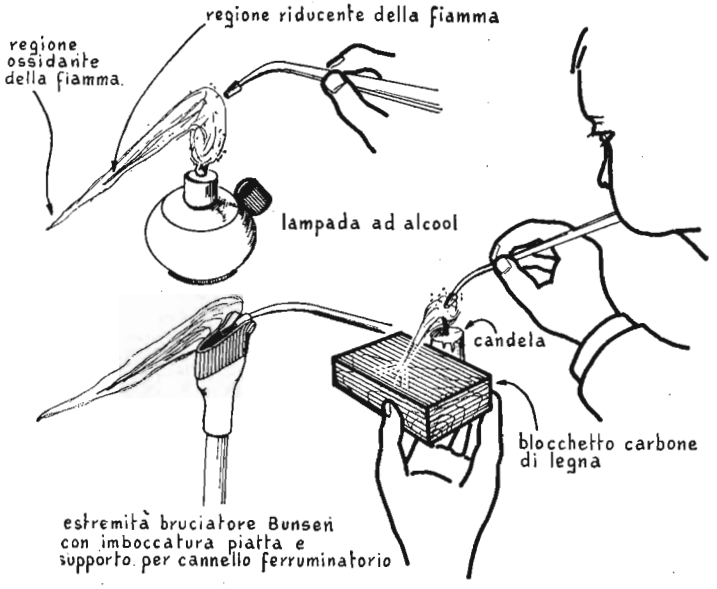
94. Prova per la magnetite minerale, e per qualsiasi altro minerale, alla ricerca delle sue caratteristiche magnetiche.

nici che esistono in questa, il loro ossigeno di composizione e ne risultano pertanto ridotti e raffinati.

Al contrario, la fiamma della zona esterna, è ricca di ossigeno e pertanto tende a cedere questo gas ai minerali che investe trasformandoli in ossidi.

Gli ossidi differiscono appunto nel colore dai minerali originali ed i testi su questo argomento informano di queste variazioni di colore e di altre caratteristiche utili per la identificazione dei vari campioni.

Similmente, molti campioni reagiscono in modo caratteristico quando sono immersi in una soluzione calda di borace. Per realizzare questa prova si prepara un occhiellino, ritorcendo l'estremità del filo di nichel-cromo, poi si porta tale occhiello nella fiamma di riscaldamento, sino a fargli assumere una incandescenza giallastra, quindi la si immerge nel borace polverizzato in modo che un piccolo quantitativo di questa sostanza fonda ed aderisca alla superficie dell'occhiello; quindi si porta di nuovo il filo sulla fiamma per fare perfezionare la fusione del materiale. Qui, il globulo riscaldato all'incandescenza viene portato in mezzo ad un piccolo quantitativo di minerale polverizzato ed una parte di quest'ultimo vi aderisce. Riportato alla fiamma il globulo di borace, i frammenti di minerale rea-



95. Tipi di generatori di fiamma, per le prove al cannello ferruminatorio.

giscono con questo chimicamente e le sostanze che lo compongono entrano in soluzione nel borace. Il globulo del borace presenta quasi sempre una colorazione netta e caratteristica, e spesso il colore stesso subisce qualche variazione con il raffreddamento.

Entro un tempo brevissimo il principiante apprenderà a riconoscere un grande numero di rocce e minerali presenti nella sua zona. Non mancheranno di stabilirsi delle comunicazioni con altri dilettanti interessati alla stessa specialità con i quali effettuare degli scambi di campioni o di informazioni dei campioni stessi. Non sarà fuori di caso stabilire anche contatti con dilettanti di località alquanto distanti, per avere la massima copertura geografica delle zone di origine dei vari minerali. Con una infarinatura di chimica sarà possibile rilevare, lungo le pendici di qualsiasi collina, contenute negli innumerevoli minerali, praticamente tutte le sostanze più comuni esistenti e che si ri-

trovano normalmente in un laboratorio di chimica, naturalmente ad un costo assai inferiore.

Dove questi composti ebbero la loro origine? Sotto quali condizioni? Per quanto tempo venne impegnata la natura per la loro formazione? Alla ricerca delle risposte a queste domande potrà essere interessante rivolgersi verso una speciale sezione della geologia, ossia di quella nella quale ci si orienta alla osservazione dei resti immobilizzati delle creature terrestri scomparse dalla terra molto prima dell'avvento dell'uomo, alla esplorazione del fondo dei mari antichi nell'esame delle forze esplosive che modellarono il nostro pianeta.

2

LE ATTRATTIVE DELLA SISMOLOGIA DILETTANTISTICA

Viene descritto l'hobby di un dilettante sismologo e sono fornite istruzioni per localizzare il punto di origine dei terremoti anche molto distanti, dalle vibrazioni che scuotono o fanno oscillare il terreno. Descrizione di alcuni sismografi tipici. Invito di un sismologo ai dilettanti a dare un aiuto ai professionisti.

Un luogo, altrettanto buono come qualsiasi altro, per trovare un dilettante felice, è il piano terreno di una villetta ad Elma, N.Y. dove, in una specie di piccolo sottoscala di angolo, molto somigliante ad una camera oscura per fotografo, vi è una delle più interessanti stazioni sismologiche esistenti negli Stati Uniti. Tale laboratorio viene condotto ed è di proprietà

di Harry H. Larkin Jr, che nelle ore di ufficio è il vicepresidente della Larkin Warehouse, Inc, nella vicina Buffalo.

Dilettante meteorologo e sismologo, il signor Larkin è un osservatore cooperante in questi due argomenti, per il governo statunitense. Egli provvede infatti a fornire all'ufficio meteorologico statunitense delle serie regolari di rapporti e non appena i suoi strumenti registrano un movimento tellurico, egli provvede a spedire i rilevamenti, per telescrivente, all'ufficio americano di Sorveglianza Costiera e Geodetica. L'interesse più particolare del signor Larkin è quello rivolto allo studio dei cosidetti microsismi, vale a dire a quelle piccole vibrazioni relativamente costanti della terra, che collegano la struttura del pianeta alle condizioni meteorologiche locali e generali, ma che rappresentano ancora un'incognita non chiarita.

Le scienze della terra avevano affascinato il signor Larkin sin da quando egli possa ricordare. Da ragazzo era solito visitare, con il padre, ogni stazione meteorologica della zona e che fosse ad una distanza da rientrare nel raggio di percorrenza dell'autovettura di famiglia; più tardi iniziò la sua carriera di sismologo installando un barografo nel laboratorio della casa. Oggi il cortile dietro casa è punteggiato di pluviometri, chiesuole per termometri, torri per anemometri, banderuole, registratori di luce solare, apparecchi fotografici astronomici, con esposizione a tempo ed una intera serie di altri veri strumenti professionali.

Taluni anni addietro, la reputazione sempre crescente del signor Larkin come osservatore cooperativo di meteorologia indusse un sismologo professionista ad invitarlo ad aiutarlo nello studio sui microsismi: il signor Larkin aggiunse ben presto altre due strisce di registrazioni su zona di carta alla dozzina di strisce che già aveva emessa dai suoi vari strumenti e si avviò con incertezza su ciò che da allora è divenuta una interessante e spesso eccitante esperienza. Egli stesso dice: « mi sono introdotto nella sismologia attraverso la porta di servizio e forse posso essere definito come un meteorologo dilettante con la sismologia come hobby o viceversa ».

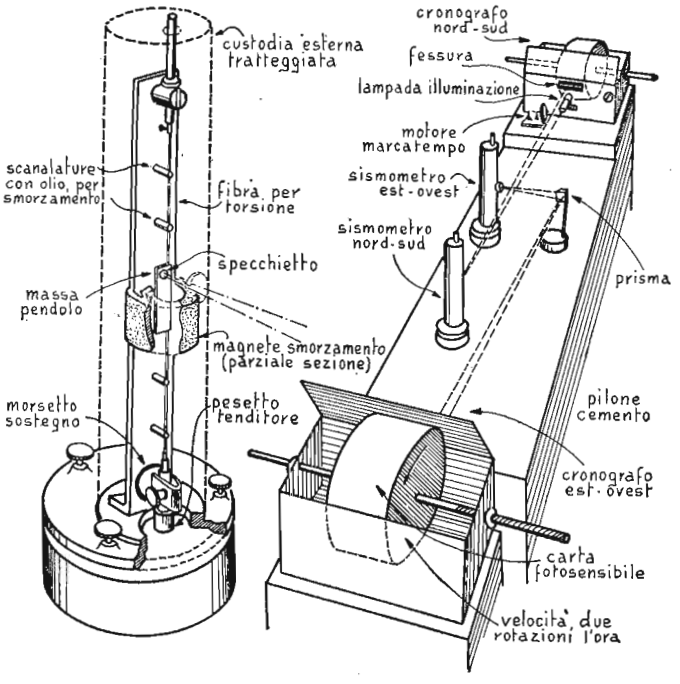
Praticamente ogni cosa che un sismologo viene a sapere nel suo campo deriva dalla interpretazione delle linee ondulate che sono tracciate sulla zona di carta e pertanto, per comprendere la sismologia, occorre per prima cosa comprendere lo stru-

mento che traccia queste registrazioni. Il cuore di un sismografo è rappresentato da un pendolo che serve da elemento sensore. I suoi movimenti registrano la forza e le caratteristiche di ogni vibrazione della terra. Il sismografo normale Weichert, usato dai professionisti, consiste di un complicato apparecchio, con un pendolo del peso di circa 80 Kg. e con delle fondamenta di pietra che si spingono sino al disotto del letto di rocce. Lo strumento che opera nel seminterrato del signor Larkin è talmente semplice da stupire per le sue indicazioni, fig. 96.

Su di una lastra di cemento affondata alla profondità di 60 centimetri nel terreno argilloso che si trova al disotto della costruzione si appoggiano, in posizione verticale, due sottili cilindri, uno dei quali per effettuare la misurazione dei movimenti terrestri nella direzione est-ovest, mentre l'altro opera lo stesso rilevamento in direzione nord-sud. Nell'interno di ogni cilindro si trova un filo verticale, teso, a cui viene fissata una piccola bandierina di ottone. Tale bandiera rappresenta il pendolo, anche se essa si sporge orizzontalmente dal filo, invece che pendere verso il basso. Quando vi sono delle vibrazioni della terra, detta bandierina oscilla leggermente ed un raggio di luce riflesso da uno specchio fissato sulla bandierina rende possibile la registrazione, su una striscia di carta fotografica avvolta su di un tamburo rotante, del movimento.

Questo strumento che viene conosciuto come un « sismometro a torsione » è, in paragone con gli altri, relativamente poco costoso e può essere montato in poche ore da una scatola di montaggio messa in vendita da William F. Sprengnether J., presidente della Sprengnether Instruments Company, di Saint Louis.

L'elemento sensibile consiste come si è detto di una bandierina di rame, lunga 6 millimetri ed alta 12, collegata lungo uno dei bordi ad un filo capillare tenuto teso da una struttura verticale. Quando un movimento, derivato da un terremoto o da altre origini, muove la struttura portante in avanti ed indietro, la bandierina tende ad oscillare o meglio a compiere delle piccole porzioni di rotazione rispetto al suo asse verticale, la cui entità corrisponde a quella della ampiezza delle oscillazioni o della intensità dei movimenti terrestri. Dato che durante la rotazione parziale la bandierina determina un leggero torcimento



96. Sismografo a torsione di Wood-Anderson, usato da Harry H. Larkin Junior.

in una direzione o nell'altra del filo che la sostiene, il sistema di sismografo che si fonda su questo principio viene appunto detto « a torsione ».

Un piccolo specchio concavo, con la lunghezza focale di circa un metro, viene incollato in posizione conveniente sulla bandierina e pertanto, un sottile raggio di luce riflesso dallo specchio stesso, opera come se si trattasse di una leva ottica invece che meccanica, ed amplifica il movimento dello specchio così che gli spostamenti del raggio di luce rispetto alla carta sensibile fotografica, sul tamburo di registrazione, sono talmente ampi da poter essere percepiti con la massima facilità.

Il tamburo registratore è semplicemente una scatola di metallo contenente un cilindro dello stesso materiale sul quale

viene fissata la carta sensibile. Tale cilindro, rotante sull'asse orizzontale, viene mosso da un piccolo motorino e le condizioni sono tali per cui grazie ad un meccanismo di demoltiplica inserito, il tamburo stesso compie una rotazione completa ogni mezz'ora. In più l'asse del tamburo è costituito da un albero filettato a passo molto largo, in modo che contemporaneamente alla rotazione rispetto all'asse stesso, il tamburo possa compiere un lento e continuo scorrimento laterale avente la direzione stessa dell'asse, così che la superficie della carta sensibile presentata al raggio luminoso sia sempre rinnovata, ad evitare che le tracce delle varie vibrazioni terrestri si possano mescolare e confondere.

Il fascio di luce dà pertanto luogo alla produzione, sulla carta sensibile, di una traccia elicoidale. Tale fascio proviene da una piccola lampada installata in un recipiente cilindrico nella parte frontale del registratore, con un piccolo foro attraverso il quale solo il raggio sottile voluto possa passare.

Ad intervalli regolari, viene anche marcata sulla carta sensibile una serie di segni corrispondenti ciascuno ad una unità di tempo (ad esempio, un minuto). Tali segni possono essere prodotti da una lampadinetta separata, che viene accesa appunto per una frazione di secondo, ad intervalli di tempo di un minuto, grazie ad un meccanismo di orologeria.

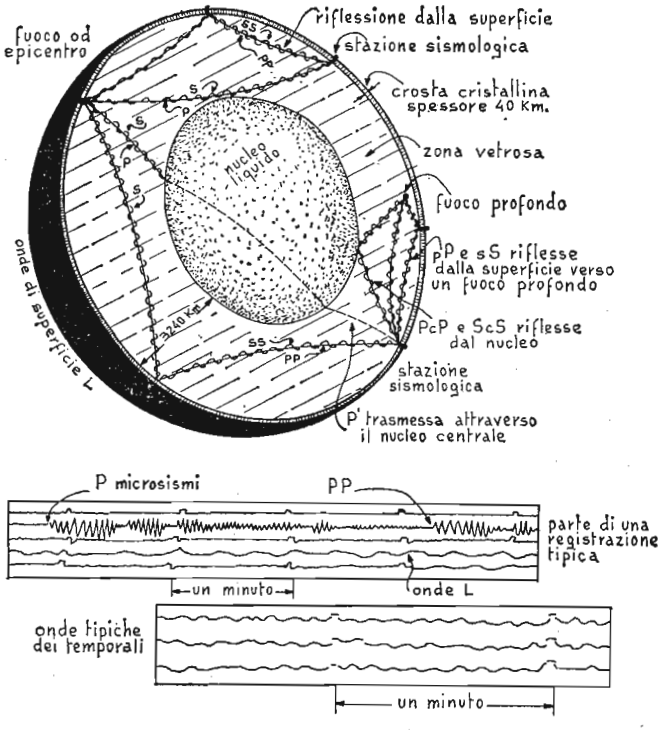
A detta del signor Larkin, il costo dello strumento, compresa la installazione, con la sola eccezione dell'orologio di precisione, dovrebbe rientrare nelle 120 mila lire, cifra che rientra nelle possibilità economiche di molti dilettanti medi, come può rientrarvi anche il lavoro necessario per la costruzione. Il consumo di carta fotografica sensibile per il funzionamento continuo dell'apparecchio, per una intera annata, è dell'ordine delle 15.000 lire.

Dal momento che, raramente, i giornali ed i notiziari contengono informazioni sui terremoti di leggera entità, occorre comprendere la nozione per la quale i sismologhi dilettanti, a somiglianza dei soldati, spendono la maggior parte del tempo che dedicano alle loro osservazioni nella attesa che qualche cosa possa accadere. È vero che molti giorni possono intercorre tra un movimento tellurico ed il successivo; i microsismi però, che tracciano i loro grafici sulla carta fotografica ad ogni ora di ogni

giorno, rappresentano uno spettacolo continuo. Il solo studio di queste vibrazioni è già una attività che giustifica la installazione di un impianto sismologico. Vi sono, ad esempio, delle registrazioni di microsismi prodotti dalle sia pur impercettibili vibrazioni della terra per le tempeste sul mare. Talune altre appaiono associate con delle condizioni di bassa pressione presenti nel-atmosfera; taluni sono gruppi armonici di vibrazioni di origine sconosciuta; altri appaiono fissi, come onde stazionarie. Altri ancora si attraversano con percorsi incrociati. Lo schema dei loro percorsi è sempre diverso; vi sono onde sismiche che annunziano le condizioni meteorologiche future, altre che registrano il percorso del fronte freddo della scorsa epoca, vi sono forse anche altre onde che ancora riflettono la risposta della terra ad un'era glaciale conclusasi da lungo tempo.

Il massimo interesse lo presentano, però, le riverberazioni drammatiche di un terremoto prodottosi, magari, molto lontano sulla terra. Vi sono tre tipi di onde sismiche che denunciano questi fenomeni: il primo è quello P, vale a dire quello di onde di pressione, analoghe a quelle sonore in cui lo spostamento, per così dire concentrico, è quello stesso con cui esse si allontanano dal punto di origine. Vi è poi il tipo S, od onda di scuotimento, che vibra con direzione ad angolo retto con il percorso lungo il quale essa avanza. Infine vi è un tipo di onda L, ossia lunga, avente la stessa conformazione delle onde del mare e che viaggia lungo la superficie della terra.

I tre tipi di onda viaggiano a differenti velocità; un terremoto viene sempre annunciato dalla improvvisa apparizione sulla zona di registrazione del sismometro di un gruppo di tracce ravvicinate e molto ampie, prodotto dalle onde del tipo P che si spostano attraverso la terra con velocità di circa 8 chilometri al secondo. Dopo un minuto od un tempo analogo, con un ritardo che dipende dalla distanza del punto di origine del terremoto dal punto di osservazione, l'onda di tipo P comincia ad estinguersi, ma lo spettacolo è tutt'altro che concluso. Ben presto arrivano le onde tipo S, più lente, che si spostano appunto a circa 5 chilometri al secondo, giungono allo strumento con violenza analoga a quella di tipo P. Queste onde, comunque, determinano sulla registrazione su zona di carta una traccia assai diversa, che si distingue facilmente dalle P.



97. Origine e vari tipi delle onde sismiche.

Qualche tempo dopo, ancora in funzione della distanza del punto di origine da quello di osservazione, giungono le lente e serpeggianti onde L, che si spostano alla velocità di circa 4 chilometri al secondo, che concludono lo spettacolo della registrazione sulla zona di carta del fenomeno avvenuto. La differenza in velocità tra le onde P ed S rende molto semplice l'impresa di determinare, con l'aiuto di carte apposite, la distanza del punto di origine del terremoto nonché l'orario al quale esso si è verificato.

I dati relativi all'orario di inizio ed alla distanza, forniscono elementi di informazione per la struttura della terra, nei suoi strati più o meno profondi: le onde sono infatti riflesse dai vari strati di differenti sostanze che costituiscono la terra: ta-

luni di questi strati le riflettono letteralmente nell'interno della terra. Le onde riflesse, che presentano una fisionomia leggermente diversa da quelle che viaggiano direttamente dal punto di origine a quello di osservazione, forniscono qualche informazione circa la profondità di questi strati.

In più, le onde S non sono rilevabili ad una distanza di più di 11.200 chilometri, fornendo con ciò indicazione che sono bloccate nel loro percorso in qualche punto nelle profondità dagli strati del globo. Ora, poiché le onde S si spostano solo quando attraversano dei materiali solidi, ciò può fare pensare immediatamente che la terra abbia un nucleo centrale liquido; tale nucleo ha anche l'effetto di rallentare al loro passaggio le onde di tipo P e, per convenienza, si designano appunto con la sigla P' quelle onde che giungono ai sistemi di registrazione dopo avere attraversato il nucleo liquido della terra.

I movimenti tellurici hanno origine negli strati superficiali della crosta terrestre, sono comunque stati anche registrati movimenti e vibrazioni provenienti da livelli inferiori, sino a 600 e più chilometri di profondità; i movimenti molto profondi si possono riconoscere dall'assenza, nelle registrazioni che determinano di onde di tipo L e dalla presenza di treni di onde che sono stati riflessi dalla superficie della terra.

Anche se questo appare un paradosso, i fatti catastrofici che accompagnano i più gravi movimenti tellurici, come anche quelli meno gravi, si collegano così naturalmente ai processi di modificazioni terrestri che questo collegamento può sfuggire alla maggior parte delle persone. Ogni anno, ad esempio, l'erosione tende a corrodere ed a spianare punti molto elevati della superficie della terra, i vulcani continuano ad emettere nuova lava, masse di rocce fuse ed incandescenti si sollevano dalle profondità sino alle imboccature dei crateri dove si solidificano e ne aumentano l'altezza; i fiumi contribuiscono a distribuire materie più o meno pesanti di sedimento sul fondo dei mari.

Tutti questi pesi in continuo movimento esercitano delle forze sempre nuove sulle rocce affondate a profondità di 600 chilometri. Poiché le rocce sotto questa sollecitazione tendono a fratturarsi ed a scorrere una sull'altra, nei successivi 18 mesi la terra libererà da questi sforzi, 200 trilioni di trilioni di ergs di energia che si manifesterà attraverso almeno 1.500.000 mo-

vimenti tellurici. Di questi, 15.000 in media, determinano danni leggeri, altri 1500 possono determinare la caduta di comignoli od altri danni simili, altri 50 o 100 saranno di una intensità talmente forte da potere essere registrati da qualsiasi impianto di rilevamento installato nel mondo. Altri 15 o 20 avranno una violenza tale da modificare alcune strutture del suolo, da determinare il crollo di ponti e di edifici in pietra molto resistenti. Almeno uno di tutti questi movimenti, sarà poi un terremoto con conseguenze catastrofiche.

L'ampiezza e l'entità dei movimenti tellurici, viene a volte determinata da una scala basata sull'altezza alla quale la penna scrivente od il raggio di luce di un sismografo giungono nel corso delle oscillazioni prodotte da un terremoto verificatosi ad una distanza determinata dal punto di osservazione. Secondo tale scala, uno scuotimento di grave entità, quale è stato quello del terremoto avvenuto in Giappone nel dicembre del 1946, aveva una entità di 8,6; un'esplosione di bomba atomica può determinare indicazioni di ampiezza di 5,5, mentre un piccolo movimento appena sufficiente a mettere in vibrazione una pila di piatti, a breve distanza dal punto di origine, avrà la sua registrazione con indicazioni di una ampiezza di 2,5.

I terremoti ed i movimenti in genere si verificano in maniera sporadica ed appaiono imprevedibili. L'impianto di rilevamento del signor Larkin ha registrato due o tre gravi terremoti in un solo giorno, mentre altre volte sono passate molte settimane di tempo senza che si manifestasse un movimento di grande entità; come media, comunque, la stazione di avvistamento registra un terremoto di grande entità ogni cinque giorni.

Il servizio Costiero e Geodetico degli Stati Uniti, in cooperazione con il Servizio Scientifico e con l'associazione sismologica dei Gesuiti, pubblica delle schede e delle relazioni dopo ogni terremoto di una certa entità, del quale specifica l'epicentro, ossia il punto di origine e l'orario di inizio del fenomeno. Ogni dilettante che ha installato e mantiene in funzione una stazione di osservazione sismologica, disposto a condurre rilevamenti in cooperazione, può essere inserito nello schedario degli osservatori principali e ricevere le schede in questione, segnalando semplicemente il suo indirizzo e specificando le sue attività, ai singoli osservatori od alla associazione. Con tali schede e con l'aiuto

delle tabelle di spazio-tempo è un'impresa molto facile per qualsasi dilettante studiare le registrazioni tracciate sulla zona di carta dal proprio sismografo e stabilire una proficua interpretazione delle indicazioni su essa registrate.

Analizzando il movimento ondulatorio della luce, l'uomo ha risolto problemi di meccanica celeste aventi origine a miliardi di chilometri di distanza dal punto dove esso vive, ma le onde terrestri, dalle quali egli avrebbe potuto rilevare molte notizie circa il nostro pianeta sono state relativamente trascurate. Hanno forse quelle correnti di convenzione che producono i fiumi di lava, capace di produrre delle montagne, origine nell'interno del nucleo plastico centrale della terra? È questo un nucleo plastico, o liquido, od in altro stato? Sebbene il sismografo sia stato inventato 110 anni or sono, la scienza deve ancora risolvere questi problemi e molti altri a questi collegati.

Migliaia di telescopi sono stati costruiti dai professionisti e dai dilettanti, ma il numero di impianti sismografici, esistenti attualmente è estremamente ridotto ripetutamente: i sismologhi professionisti, hanno invocato la collaborazione dei dilettanti. Per rendere possibile uno studio dettagliato delle profondità della terra, la scienza abbisogna di conseguire un altro obbiettivo, vale a dire quello di mettere insieme osservazioni e relazioni fatte da una rete di stazioni sismologiche opportunamente distribuite e spaziate nella giusta misura, una dall'altra.

Le nostre attuali cognizioni di quello che si trova al disotto della superficie della terra, sono ancora vaghe ed indistinte. In genere si crede che lo strato di granito si estenda sino ad una profondità di circa 50 chilometri. Poi, da questo punto, come nel caso degli strati concentrici di una cipolla e di spessore sempre maggiore via via che sono più vicini al centro del vegetale, abbiamo uno strato di basalto e di rocce vitree sino ad una profondità di circa 40 chilometri ed, al disotto di questo, alla profondità di circa 2800 chilometri, uno strato o « mantello » composto probabilmente da ossidi metallici. Il nucleo centrale, avente un diametro di circa 6600 chilometri viene ritenuto allo stato liquido ma la sua esatta consistenza non è conosciuta. Talune teorie accennano a delle correnti di convenzione che esistono in questa massa plastica, e che generano l'energia che dà luogo alla formazione delle montagne vulca-

niche e di altro genere. Queste comunque sono supposizioni, sia pur logiche, e debbono rimanere tali sino a quando la sismologia non abbia raccolto un archivio sufficiente di nozioni atto a portare in chiaro fuoco il quadro di quanto si nasconde ad una distanza relativamente piccola al disotto dei nostri piedi.

Il sismologo gradirebbe avere a disposizione molti altri collaboratori distribuiti lungo una rete di punti di osservazione a piccola spaziatura, così da integrare la rete convenzionale di stazioni, tutt'ora eccessivamente spaziate, nel continente nordamericano.

È vero che le osservazioni ed i rilevamenti di carattere sismico sono destinati a rientrare in una vasta raccolta, statistica o no, di elementi intesi a stabilire quelle nozioni che servono per ricavare, da questa scienza, delle notizie utili per comprendere e conoscere molti fatti inerenti alla geofisica, che non possono essere accertati né esperimentati altrimenti e tanto meno, in maniera diretta, ed è pertanto vero che l'attività della ricerca in questo senso non può fornire ai professionisti come ai dilettanti che vi si dedichino, alcun utile, al punto di qualificare la sismologia, sotto tutti i suoi aspetti, come un'attività dilettantistica: rimane comunque a chiunque vi si dedichi, la soddisfazone di avere apportato il proprio piccolo o grande contributo alla soluzione di alcuni almeno dei problemi inerenti la conoscenza del nostro pianeta.

3

UN SISMOGRAFO ELETTRONICO

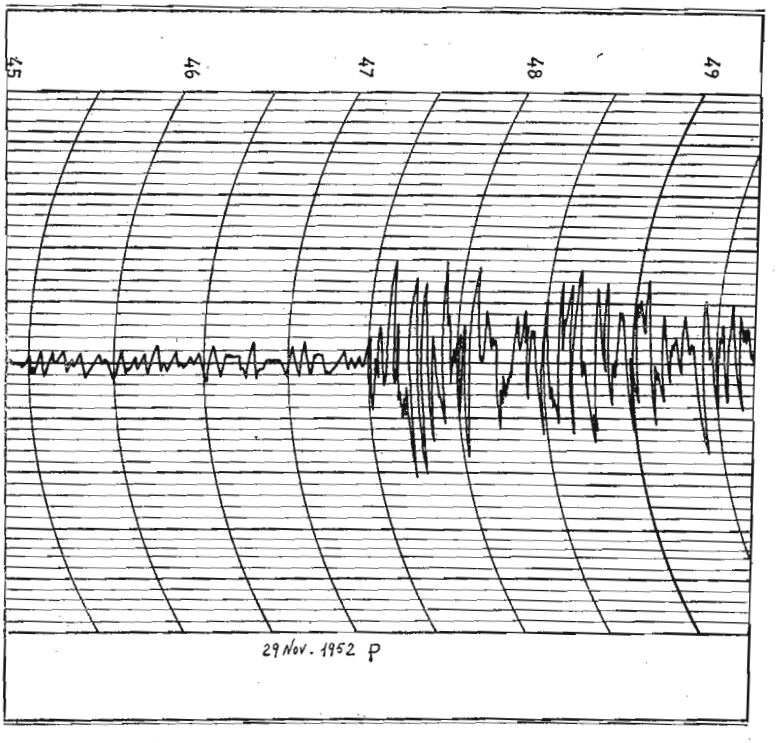
Partendo da un magnete permanente ricavato da un'apparecchiatura residuata di guerra, da alcuni ritagli di metallo e da poche parti elettroniche, è possibile costruire uno strumento di grande sensibilità, per il rilevamento di movimenti tellurici e per registrare i sempre presenti microsismi che annunziano l'avvicinarsi delle violente tempeste. L'apparato è stato progettato particolarmente per adattarlo ad una costruzione dilettantistica, da E. W. Kammer, specialista di strumentazione della Marina Statunitense. Il suo costo totale, eccezion fatta per il complesso per la registrazione della traccia sulla zona di carta, non dovrebbe di norma superare le 47.000 lire.

I grafici delle figg. 98 e 99 mostrano come un movimento tellurico aveva scosso una villetta di sette locali, situata ad Alexandria alle ore 12,55 della notte del 29 novembre 1952. L'arrivo del terremoto era stato annunciato dall'onda P di pressione, alle ore 12,55,35, fig. 98 e questa era seguita, dopo diversi minuti, da un'onda secondaria, od « S », fig. 99.

La registrazione del fenomeno era stata fatta con un nuovo sismografo, progettato particolarmente per i dilettanti da E. W. Kammer, specialista della strumentazione nella marina statunitense. Come si può vedere, molti erano gli avvenimenti di quei pochi minuti. Lo spessore della linea tracciata dallo strumento prima delle vibrazioni del terremoto era stato determinato dalle piccole ma continue vibrazioni determinate dal traffico in arrivo ed in partenza, a diverse miglia di distanza, nella città di Washington. Simili disturbi, prodotti dal traffico, sono anche responsabili di alcuni picchi minori nella registrazione. La leggera modulazione ondulatoria che si trova al disopra dei segnali avverte dell'approssimarsi di una zona di

bassa pressione atmosferica e, di questa, i bordi più elevati con maggiori aumenti e diminuzioni, riflettevano una violenta tempesta che si stava sviluppando sul mare al largo delle Caroline: circa 12 ore dopo tale rilevamento, l'uragano esplose con tutta la sua furia e portò le penne di registrazione fuori dalle zone di carta su cui la traccia veniva fissata.

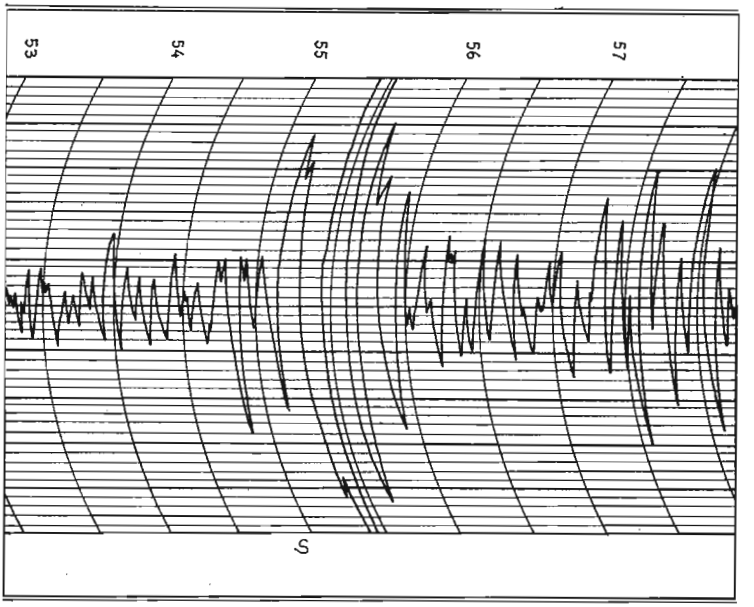
Queste onde sono chiamate microsismi: si tratta di piccole vibrazioni che scorrono senza soluzione di continuità, lungo la superficie della terra, in conseguenza all'interdipendenza di moltissime forze e condizioni, sia naturali che dipendenti dalla presenza dell'uomo. Ad ogni modo tali vibrazioni erano di solito talmente lievi che nessuno in Alexandria, eccettuato lo stesso Kammer, si stava accorgendo degli scuotimenti della terra.



98. Sismogramma illustrante, a sinistra, dei microsismi; si nota, al centro la comparsa dell'onda P, che annuncia un terremoto.

Le onde terrestri sono, per il sismografo, ciò che le onde luminose sono per il telescopio. Come il telescopio rivela i dettagli cosmici troppo tenui o troppo lontani per essere rilevati direttamente dall'occhio, il sismografo permette allo scienziato di assumere notizie circa la struttura interna della terra, e come il telescopio segnala nuove comete e l'esplosione di nuove stelle, ugualmente il sismografo fornisce una annotazione continua di alcuni fenomeni insoliti: l'accentuarsi improvviso di una nuova montagna vulcanica, il riadattamento delle forze interne in risposta all'erosione superficiale, allo schiacciarsi di cavità sotterranee, l'interdipendenza delle sollecitazioni determinate dalle maree dalle masse di aria in spostamento. Per questo, il sismografo è uno strumento atto ad investigare da una distanza di sicurezza taluni dei più grandi spettacoli che si offrono sulla terra, oltre che l'unico strumento conosciuto per studiare l'interno del pianeta, al di là di una profondità di 10 o 12 chilometri.

È un peccato che i dilettanti, nelle osservazioni naturali, non siano stati molto attratti dalla sismologia: Kammer ritiene che siano state tre impressioni errate a scoraggiare i dilettanti stessi a dedicarsi un poco a questa scienza: per prima cosa, molti profani ritengono che nulla o quasi accade in un sismografo, sino a quando non intervenga un vero terremoto ed a giudicare da quanto viene segnalato dai giornali, i veri terremoti sono pochi e molto distanziati nel tempo e nello spazio. In secondo luogo, i profani guardano alle strisce di carta della registrazione fatta dai sismografi come ad una successione, piuttosto insignificante, di segni che le vibrazioni determinate dal terremoto trasformano in una confusione ancora più disperata. Infine, l'apparecchio colpisce i profani come uno strumento inaccessibile. I pochi esemplari di tale apparecchio, che sono visibili al pubblico, presentano infatti massicce intelaiature ancorate a colonne di cemento affondate nel letto di roccia esistente nel sottosuolo. Le leve che servono per l'amplificazione del movimento, sono imperniate su supporti di zaffiro; orologi di precisione azionano dei tamburi di registrazione altrettanto precisi, su cui si trova della carta affumicata, difficile da manipolare. Di certo, gli strumenti di questo genere si trovano al difuori della portata economica e delle capacità lavorative del dilettante medio.



99. L'arrivo dell'onda S accompagna la seconda fase di un fenomeno sismico.

Kammer ammette che la sismologia deve molto del suo interesse alla presenza dei terremoti: le onde di essi rimbalzano ripetutamente attorno ai vari strati che formano la massa della terra prima di giungere ad apporre la loro firma sullo strumento, sotto forma di registrazione sulla zona di carta. È appunto per questo che le onde sismiche portano con sé tante informazioni sulle zone di profondità dalle quali sono passate. Dice, Kammer:

> Chi vuole osservare uno spettacolo veramente movimentato, non si ponga dinanzi ad un televisore, ma si costruisca od acquisti un apparecchio sismografico.
>
> Con un minimo di esperienza, le registrazioni diverranno non solo facili da interpretare, ma anche piene di interesse. Sarà possibile distinguere a colpo d'occhio se un terremoto abbia origine all'estremità opposta del globo, oppure a poche miglia di chilometri di distanza, come distinguere se si tratti di un semplice movimento superficiale oppure di un assestamento prodotto da forze profonde.

Quelli che, a prima vista, sembrano semplici segni senza significato diventano, per l'osservatore esperto, l'immagine di una regione costiera che viene sommersa dal mare, oppure il centro di un lontano uragano, la nascita di un vulcano o, molto semplicemente la traccia che accompagna una persona di famiglia mentre essa cammina dalla cucina alla stanza di soggiorno.

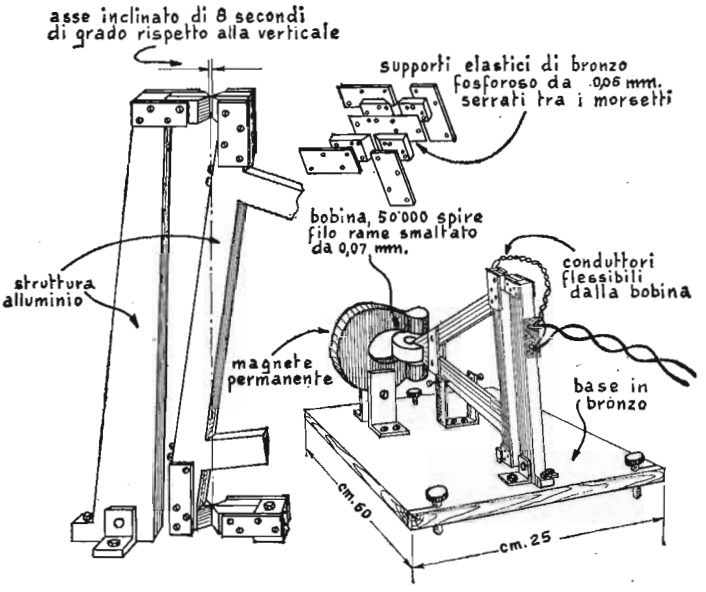
Kammer dice che se egli avesse dovuto usare qualcuno dei vecchi sismografi da museo, il suo entusiasmo sarebbe probabilmente diminuito. « Non penso che potrei lavorare con molto entusiasmo per l'impiego di qualche utensile azionato a vapore ». Fortunatamente, nella nostra era elettronica, tutti i meccanismi si sono ridotti, in dimensioni ed in costo, ivi compreso il sismografo.

Lo strumento che Kammer progettò per i dilettanti, poggia su di un piano delle dimensioni di 50 centimetri di lunghezza per 25 di larghezza soltanto (vedere disegno di Roger Hayward, fig. 100). Esso consiste di tre unità: un sismometro, un amplificatore ed un registratore.

Un elemento orizzontale imperniato ad una estremità porta, alla estremità opposta, una bobina realizzata con filo di rame isolato avvolto a spirale. Tale bobina di rilevamento serve da sensore per il pendolo del sismometro ed in particolare rappresenta il pesetto terminale del pendolo stesso. Dei conduttori flessibili collegano la bobina ad una linea che conduce il segnale ad un amplificatore che, se lo si desidera, può essere situata alla distanza di un chilometro e più dallo strumento.

L'amplificatore aziona la penna di registrazione che, nel caso del prototipo, è stata una penna di registratore a traccia della marca Esterline-Angus, della sensibilità di 5-0-5 milliampère, acquistata nel mercato di residuati bellici.

Oltre a permettere la sistemazione del sismometro in un punto anche distante, purché favorevole, il progetto presenta altri vantaggi rispetto ai sismografi di vecchio tipo e convenzionali. Data l'assenza in esso di delicate parti in movimento, l'apparecchio può essere spostato facilmente senza il pericolo di alterare la sua eventuale taratura. La posizione di equilibrio della bobina che serve da sensore per le oscillazioni non è poi critica, né è



100. Dettagli di un sismografo elettronico tipo Galitzin, adattato per una realizzazione dilettantistica da E. W. Kammer.

critica la posizione di qualsiasi altra delle parti componenti, eccezion fatta per le cerniere o sospensioni di tipo cardanico: queste ultime debbono essere in allineamento, altrimenti delle forze imprevedibili potrebbero disturbare il pendolo quando esso si troverà in prossimità della posizione zero.

La bobina di rilevamento dell'apparecchio Kammer consiste di 50.000 spire, avvolte alla rinfusa ma con un certo ordine, di filo smaltato di rame della sezione di 0,05 millimetri; comunque, sia il numero di spire che la sezione del filo possono essere variati con una certa tolleranza. La bobina oscilla tra i poli di un magnete permanente ottenuto esso pure con il materiale residuato e che serviva in origine come eccitatore del campo per una valvola magnetron; comunque, anche un qualsiasi altro magnete permanente di pari potenza e di analoghe caratteristiche dimensionali e di forma può essere usato nelle stesse condizioni, come anche può essere usato un elettromagnete con avvolgimento

di eccitazione alimentato con corrente continua di adatta tensione.

La dimensione dello spazio libero compreso tra le estremità delle espansioni polari e lo spessore della bobina sono elementi di poca importanza, a patto che sia reso possibile un adatto gioco tra i due elementi, sufficiente per consentire il movimento della bobina. Kammer dice che è desiderabile aumentare la tensione di uscita del sismometro, aumentando nei limiti del possibile il numero delle spire che compongono la bobina del sensore, sino a quando uno smorzamento critico può essere ottenuto collegando una resistenza di molti megaohm ai capi della bobina stessa. L'aumentato livello del segnale di uscita permette l'impiego di un amplificatore con un numero inferiore di stadi. Il complesso viene completato con un cofano metallico di protezione, particolarmente per il sensore e l'amplificatore da campi elettrici e magnetici dispersi.

Il circuito è predisposto in modo che una piccola batteria possa essere inserita momentaneamente tra i capi della bobina, facendo muovere questa ultima come un motore ed allontanandola dalla posizione nella quale essa sarebbe stata nel perfetto equilibrio. Togliendo le connessioni della batteria dalla pila e ristabilendo quelle in direzione dell'entrata dell'amplificatore, è possibile stabilire il periodo della oscillazione libera del pendolo come anche il valore più appropriato della resistenza da usare per lo smorzamento, senza dovere asportare anche momentaneamente il coperchio dello strumento.

Forse, il vantaggio principale dello strumento Kammer è il controllo che esso offre all'osservatore delle caratteristiche della registrazione; diversamente dagli strumenti che utilizzano delle leve ottiche e che registrano il segnale su carta fotografica, le registrazioni fatte con il sismografo elettronico possono essere seguite direttamente mentre vengono tracciate. Dei microsismi deboli e molto ravvicinati possono essere ingranditi con la semplice rotazione di una manopola sino ad accentuarne i dettagli in funzione delle necessità, mentre i disturbi di notevole entità possono essere ridotti impedendo alla penna di saltare fuori dalla striscia di carta di registrazione.

Come appare nel progetto attuale, lo strumento presenta una sola caratteristica discutibile: si tratta di un sismografo del tipo

a velocità; l'uscita in tensione della bobina di rilevamento varia in proporzione delle velocità di spostamento del pendolo e quindi della velocità di spostamento della bobina stessa nel campo delle linee di forza magnetica della calamita, piuttosto che in funzione dell'ampiezza del suo spostamento.

I sismologhi professionisti sono invece interessati alla forma delle onde di spostamento, ossia all'entità della escursione della penna, da entrambi i lati rispetto al punto di equilibrio, piuttosto che alla velocità con la quale lo spostamento avviene.

I grafici tracciati dallo strumento a velocità, possono comunque essere convertiti in indicazioni di spostamento applicando una semplice integrazione, facilmente attuata con una delle apparecchiature integratrici disponibili in commercio, oppure inviando il segnale di uscita dell'amplificatore ad un circuito di integrazione elettronica, del tipo recentemente sviluppato per una utilizzazione nei calcolatori elettronici analogici; tali circuiti sono facili da costruire e le parti componenti non costano molto. Kammer dice che è sorprendente quanto sia possibile apprendere da un semplice grafico tracciato da un apparecchio a velocità; egli anzi non fa nemmeno uso di un complesso integratore.

La più importante delle tre parti del complesso è rappresentata dall'amplificatore che risponde a frequenze da tre cicli al secondo ad un ciclo ogni venti secondi. Kammer aveva ridotto volutamente la risposta in frequenza alle frequenze superiori ai tre cicli al secondo, allo scopo di sopprimere e, quanto meno, di attenuare gli effetti dei disturbi aventi origini non naturali, quale il traffico stradale e di altro genere.

La maggior parte dei complessi di amplificazione operanti su frequenze molto basse, come quelli che necessariamente sono utilizzati in questo caso, sono disturbati da una graduale deriva che si presenta nella loro risposta rispetto alla posizione zero, ossia a quella neutra nella quale il pendolo si trova stabilmente quando non viene sollecitato da alcun movimento tellurico.

L'amplificatore di Kammer, invece, fig. 101, assicura una lunga stabilità della posizione di zero, grazie alla presenza di un accoppiamento a resistenza e capacità tra i vari stadi. La resistenza di smorzamento e di polarizzazione di griglia, da 5 megaohm, collegata ai capi del primo tra i due condensatori da 10 millifarad, di tipo speciale, fornisce al circuito di entrata una

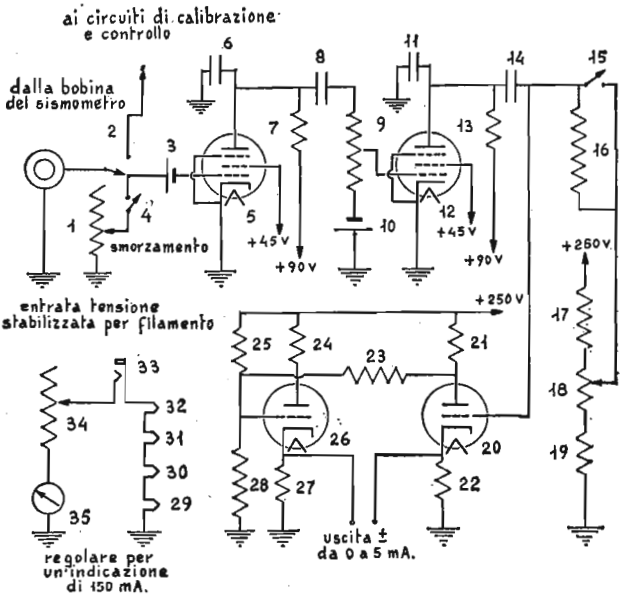
costante di tempo del valore di 50 secondi. Ne deriva che è possibile osservare dei tipici sismogrammi aventi vibrazioni sino a frequenze di un solo periodo ogni 30 secondi

Le graduali variazioni delle caratteristiche elettriche ed elettroniche delle valvole radio e delle tensioni erogate dalle batterie non si manifestano tanto rapidamente, come dice Kammer, da riuscire a determinare la produzione di imbarazzanti potenziali tra i capi della resistenza di polarizzazione. I due condensatori di 10 millifarad rappresentano la sola parte critica dell'intero amplificatore: essi debbono essere della migliore qualità e debbono presentare una resistenza di perdita di almeno 1000 megaohm. Componenti elettronici di questo tipo sono reperibili, ad esempio, presso la Condenser Products Company, di Chicago, al prezzo di circa 6000 lire.

Gli stadi di uscita consistono essenzialmente di un circuito a ponte simile a quello usato nei voltmetri elettronici a valvole: il primo tubo del ponte opera come un amplificatore ed invertitore di fase (da notare la resistenza da 1 megaohm inserita tra la placca della prima valvola della sezione e la griglia della valvola successiva della sezione stessa, per pilotare la griglia della valvola finale). Questa disposizione permette l'aumento della sensibilità dell'apparecchio. La corrente per pilotare la penna del registratore, viene prelevata tra i catodi delle due valvole. Se lo si desidera, la tensione può essere prelevata dalla placca della valvola ove interessi inviarla ad un oscilloscopio a raggi catodici od a qualsiasi altra apparecchiatura che, per la sua costituzione, richieda di essere eccitata con la tensione.

Kammer realizzò il suo comando di guadagno con delle resistenze fisse calcolate in modo da dimezzare ciascuna il valore della precedente, e che sono inserite successivamente con l'aiuto di un commutatore rotante, con un massimo in corrispondenza della griglia ed un minimo in corrispondenza della terra.

L'azione positiva assicurata dal commutatore, determina la produzione di un rumore di fondo inferiore a quello prodotto dal cursore di un potenziometro che, per semplificazione, appare usato nello schema dell'apparecchio. I condensatori da 100.000 microfarad collegati tra le placche e la terra, limitano la risposta superiore alla frequenza del complesso. Senza di essi, le vibrazioni prodotte nelle vicinanze, di qualsiasi natura fossero state,



101. Circuito del sismografo di Kammer.
Elenco parti: 1 - 5 megaohm. 2 - interruttore I. 3 - polarizzazione negativa - 3 volt. 4 - interruttore. 5 - valvola 12SJ7. 6 - 0,1 mF. 7 - 200.000 ohm. 8 - 10 mF, vedi testo. 11 - 0,1 mF. 12 - valvola 12SJ7. 13 - 200.000 ohm. 14 - 10 mF, vedi testo. 15 - interruttore 3. 16 - 5 megaohm. 17 - 50.000 ohm. 18 - 2.000 ohm. 19 - 8.000 ohm. 20 - valvola 12J5. 21 - 8.000 ohm. 22 - 8.000 ohm. 23 - 1 megaohm. 24 - 8.000 ohm. 25 - 1 megaohm. 26 - valvola 12J5. 27 - ohm. 28 - 110.000 ohm. 29 - filam 12J5. 30 - filam 12J5. 31 - filam 12SJ7. 32 - filam 12SJ7. 33 - presa bipolare. 34 - 500 ohm. 35 - milliamperom. in CC, regolare su 150 mA.

avrebbero determinato la produzione di registrazioni indesiderabili e disturbate.

Il funzionamento originario previsto per una alimentazione a batteria può essere adattato per una alimentazione da un complesso alimentatore da corrente alternata bene stabilizzato. I filamenti delle valvole sono collegati direttamente in serie con il circuito di alimentazione ad alta tensione attraverso una resistenza di caduta atta a limitare la corrente circolare al valore di 150 milliampère.

Le tensioni di placca e di schermo per gli stadi a pentodo sono prelevate dalle batterie, anche se viene usato un alimentatore per il resto del complesso. Le batterie, in questa sede, hanno il merito di migliorare la stabilità del complesso e dato che l'assorbimento di corrente da parte del circuito è molto basso, la durata delle batterie è quella stessa che esse avrebbero se fossero lasciate in magazzino inutilizzate e subissero cioè solamente il loro invecchiamento naturale.

La disposizione delle parti componenti l'amplificatore non è affatto critica, sebbene Kammer raccomandi una certa protezione dalle vibrazioni per eliminare, od almeno ridurre, i disturbi di microfonia che si originano per la vibrazione degli elementi interni delle valvole. Nell'impiego dell'amplificatore, è importante, egli avverte, tenere presente la variazione di fase introdotta dai circuiti di accoppiamento, quando vengono messi a confronto i segnali provenienti da diversi sismometri.

Nello studio dei microsismi dalla registrazione dei segnali prelevati da tre strumenti, nella cosiddetta disposizione tripartita, i segnali che debbono essere paragonati hanno tutti lo stesso periodo e risentono pertanto dello stesso livello di variazione di fase, se tutti gli amplificatori sono identici.

Come spiega Kammer, questa condizione si può raggiungere facilmente collegando in parallelo le entrate di tutti gli amplificatori, così da poterli pilotare con un unico segnale e quindi paragonando la risposta singola di ciascuno di essi, fatta su registrazioni separate.

Sebbene questo notevole amplificatore fosse stato progettato per funzionare in particolare modo con il segnale erogato da un sismometro del tipo a velocità, esso funzionerà ugualmente bene anche quando è azionato da altri sismometri elettrici, del tipo a tensione.

Occorre un poco di immaginazione per realizzare quali potranno essere i sismometri a pendolo atti ad erogare una tensione proporzionata allo spostamento del pendolo ed alla accelerazione da questo subita.

Al di là del campo della sismometria, l'amplificatore descritto potrebbe trovare larga applicazione anche nella fotometria stellare ed in altre ricerche nelle quali sono necessarie registrazioni di segnali variabili secondo frequenze bassissime.

4

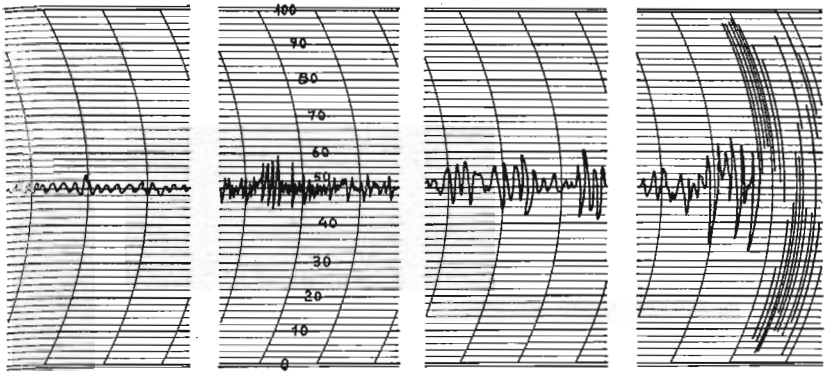
OSSERVATORIO SISMOLOGICO DILETTANTISTICO

Sono presentate alcune interessanti variazioni al progetto di sismografo, in una rassegna di strumenti costruiti da A. E. Banks di Santa Barbara, California. Sono forniti dettagli del progetto e della costruzione di ciascuno degli strumenti. Viene descritto anche un interessante sismografo realizzato principalmente a mezzo di lavorazioni manuali.

Uno dei più efficienti e completi osservatori sismologici costruito da un dilettante viene mantenuto in esercizio da A. E. Banks, proprietario di un emporio, a Santa Barbara, California. Banks dedicò praticamente tutto il suo tempo libero per un periodo di tre anni, allo studio di come costruire delle versioni semplificate dei sismografi convenzionali. In conseguenza di queste ricerche egli giunse anzi a sviluppare alcuni tipi di strumenti che non si trovavano descritti sui testi di riferimento.

Dato che in genere due o più strumenti, sostanzialmente diversi, sono sempre in funzione nel suo laboratorio, egli perde difficilmente la cognizione di qualsiasi movimento tellurico. Le più interessanti sezioni delle sue annotazioni, del grande terremoto delle Aleutine del marzo del 1957, nel quale le coste delle Hawaii vennero scosse da oscillazioni della ampiezza di 150 centimetri, sono illustrate nella fig. 102. La completa registrazione del terremoto copre un tratto di zona di carta della lunghezza di 120 centimetri.

La prima porzione della registrazione misura le deboli e sempre presenti vibrazioni conosciute col nome di microsismi, che pare si sviluppino dalle variazioni di pressione barometrica, dagli assestamenti della superficie, e da altre minori fonti di energia sismica. La porzione successiva mostra l'inizio dello scuo-



102. Sismogramma del terremoto verificatosi nelle Aleutine nel marzo del '57, registrato da A. E. Banks, di Santa Barbara, California.

timento, che viene annunciato dal primo e più evidente dei tre tipi caratteristici di onde di movimenti tellurici, ossia dall'onda primaria o P. Questa onda vibra nella direzione del suo percorso, a somiglianza di una molla cilindrica che viene tesa e quindi lasciata andare. Essa viaggia attraverso la terra ad una velocità media di circa 8 chilometri al secondo. La terza porzione mostra l'arrivo dell'onda secondaria od S che si sposta alla velocità media di circa 5 chilometri al secondo; questa viene anche chiamata onda di scuotimento, poiché vibra ad angolo retto rispetto alla direzione del suo percorso, ossia a somiglianza della vibrazione di una corda di violino, nella quale la direzione di questa viene considerata l'asse della corda stessa.

La traccia lasciata dalle onde S sul sismogramma non è così densa come quella delle onde P, in più l'altezza delle tracce delle due onde è solo raramente uguale, il che sta ad indicare la differenza dell'ampiezza delle due categorie di oscillazioni. Ne deriva quindi che le onde P e le onde S possono essere facilmente distinte tra di loro senza difficoltà.

Il fatto che sia le onde P come le onde S viaggino a velocità caratteristiche e ben note fornisce una base per il calcolo della distanza esistente tra il punto di origine del terremoto ed il punto nel quale viene fatta la osservazione. Ciò si deve princi-

palmente al fatto che le onde prendono i percorsi più brevi attraverso gli strati interni della terra. Le onde sono così rifratte e riflesse dalle discontinuità e dalle differenze che si trovano nello spessore della crosta terrestre ed in più la loro velocità aumenta con la profondità del percorso da esse compiuto.

La quarta porzione delle tracce registrate dal sismografo di Banks misura la principale onda conclusiva del terremoto delle Aleutine, ossia l'onda lunga e l'onda L. Questa onda lascia sempre sui sismogrammi una traccia ampia e drammatica, e diversamente dalle onde P ed S, viaggia principalmente attraverso gli strati esterni della crosta terrestre.

Le onde P ed S sono le più utili nella ricerca della struttura della terra alle grandi profondità, mentre le onde L sono le più adatte per lo studio degli strati superficiali della terra stessa. La velocità di avanzamento delle onde L è la più influenzata dalla natura e dalle caratteristiche del terreno che attraversano ma totalizza in genere una velocità media di circa 4 chilometri/secondo.

Il sismografo risente delle vibrazioni della terra, traendo vantaggio dalla prima legge di Newton secondo la quale, un corpo sospeso liberamente ed immobile, rimane in tale condizione di immobilità sino a quando qualche cosa non lo sposti da queste condizioni di stabilità. Se uno sperimentatore potesse trattenersi in aria senza alcun collegamento alla terra non risentirebbe in alcun modo di qualsiasi terremoto, anche se violentissimo.

Se, in queste condizioni, una striscia di carta fosse distesa a terra ed ancorata a questa, l'osservatore potrebbe tracciare un vero e proprio sismogramma tenendo una matita in mano e sporgendo questa in modo da portarne la punta di questa in contatto con il foglio fissato a terra.

Poiché la gravità rende praticamente impossibili queste sospensioni ideali, i progettisti dei sismografi si adattano per una sospensione quanto più vicina a quella ideale, vale a dire ad una sospensione elastica, quale quella che si può ottenere ancorando un peso od un pendolo ad una molla a distensione.

Il pendolo può essere considerato una sospensione elastica poiché si comporta come se una molla fosse distesa tra il pesetto del pendolo stesso ed il centro della terra.

Galileo Galilei fu il primo ad osservare due interessanti pro-

prietà di queste sospensioni. In primo luogo, esse oscillano ad un ritmo caratteristico; per esempio, quando una sfera di ferro sospesa ad una molla cilindrica viene tirata verso il basso e quindi lasciata andare, prende ad oscillare verso l'alto ed il basso, ossia verticalmente, ad un regime che dipende dalla massa della sfera e dalla rigidità od elasticità della molla.

In secondo luogo, quando un pendolo viene posto in movimento da una spinta, continua ad oscillare per un certo tempo, la cui durata dipende da quanto rapidamente l'energia assimilata dalla spinta viene dissipata nella resistenza dell'aria ed in altre resistenze. È per questo che storicamente i pendoli sono stati usati direttamente od indirettamente per la misurazione del tempo. Ma se quest'ultima proprietà è apprezzata dai costruttori di orologi, rappresenta invece il tormento di coloro che studiano e costruiscono i sismografi.

Il sismografo ideale dovrebbe rispondere in pari misura alle onde di tutte le frequenze. Il progettista di sismografi, però, si trova nella necessità di realizzare un dispositivo che favorisca talune frequenze e ne elimini altre. Consideriamo un semplice sismometro consistente in una pesante sfera di ferro appesa ad una molla, a sua volta collegata con la sua estremità superiore ad una struttura poggiante sul terreno.

La sfera e la molla debbono essere scelte in modo che, quando la sfera stessa viene spostata dalla sua posizione di immobilità, oscilli verticalmente con un ritmo di oscillazione completa al secondo. Si immagini a questo punto che la sfera stessa sia immobile quando sopraggiunge un terremoto.

Se il movimento fa oscillare la struttura portante ad una velocità maggiore di un periodo al secondo, la sfera tende a rimanere ferma, mentre la molla che la sostiene tende ad allungarsi ed a contrarsi alternativamente. Quando invece la frequenza dello scuotimento corrisponde a quella della sfera e della molla, la sfera stessa assorbe dell'energia ad ogni oscillazione, per questo comincia ad oscillare verticalmente e l'ampiezza della sua oscillazione diviene via via maggiore ad ogni periodo.

Quando la struttura portante oscilla ad una frequenza inferiore di un ciclo al secondo, sia la sfera come la molla, si muovono verso il basso e verso l'alto, in sincronismo con le oscilla-

zioni stesse. Le vibrazioni della terra sono rilevate dalla osservazione del movimento del pesetto del pendolo, in relazione alla struttura che le fa da supporto. Tale movimento è apparente quando la frequenza di movimento della struttura è più elevata di quella del pendolo; è invece pressoché inesistente quando tale frequenza è inferiore.

Il sismografo più desiderabile dovrebbe essere quello avente un periodo naturale di oscillazione più lungo di quello dell'onda di un terremoto: occorrerebbe in particolare un pendolo avente un periodo di oscillazione di un ciclo ogni molti minuti o meglio ancora che esso avesse il ritmo di un'oscillazione ad intervalli di diverse ore. Tali pendoli pur ideali, sono molto difficili da costruire e risulterebbero, comunque, di dimensioni eccessive e quindi impratiche; in più, per fortuna, la maggior parte delle onde sismiche dei normali terremoti, hanno frequenze comprese da frequenze di tre al secondo sino ad una oscillazione al minuto.

Negli osservatori sismologici, vengono di solito registrati solamente i segnali esistenti nella zona più bassa di questa gamma e si utilizzano tre diversi sismometri, accordati rispettivamente per rispondere a frequenze di oscillazioni spaziate tra di loro di 2,8 e 15 secondi. Il sismometro per due secondi, rivela le onde P e ne riceve i microsismi che rientrano nella gamma tra 2 e 9 secondi di periodo.

Lo strumento ad 8 secondi risponde energicamente alle onde P ed ai microsismi. Lo strumento a 15 secondi registra preferibilmente le onde S e le onde L. Uno strumento di questo genere è difficile da regolare: per questo, molti sismologhi dilettanti si orientano al compromesso di un periodo di 10 secondi.

La seconda proprietà dei pendoli, osservata da Galileo, ossia la loro tendenza a mantenersi in oscillazione una volta messi in movimento, viene controllata con il sistema della frizione e della resistenza elettrica. Questo aumenta la rapidità con la quale l'energia accumulata nella spinta iniziale di avvio viene dispersa, e va anzi a contrastare la tendenza del pendolo ad oscillare, al suo periodo naturale, in misura eccessiva.

Questa condizione viene spesso ottenuta immergendo una specie di aletta, fissata all'estremità inferiore del pendolo, in una vasca contenente olio medio: lo stesso risultato può anche

ottenersi realizzando la citata paletta, in rame o in materiale analogo e quindi predisponendo le cose in modo che l'estremità inferiore del pendolo e quindi la paletta vengano a spostarsi, nell'oscillazione, nello spazio compreso tra le espansioni polari di una forte calamita permanente o meglio, di un'elettrocalamita: in queste condizioni, l'oscillazione e quindi l'attraversamento da parte della paletta delle linee di forza magnetiche, determina la induzione in questa di un potenziale e questa si oppone alle linee stesse, per cui contrasta l'ulteriore movimento dell'insieme.

La condizione ideale è quella che il pesetto del pendolo sia smorzato in misura tale da tornare ben presto immobile dopo essersi messo in movimento. Se comunque il pendolo è smorzato eccessivamente, esso diviene pigro nei suoi movimenti e richiede più di una oscillazione per mettersi in equilibrio. Se viene smorzato in misura inadeguata, tende ad oscillare troppe volte prima di arrestarsi.

Il migliore compromesso, detto « critico », si trova tra questi estremi e deve essere determinato a seguito di esperienze, specifiche con ciascuno strumento.

A meno che non si sia nelle immediate vicinanze del punto di origine del fenomeno, i terremoti muovono le strutture del sismografo solo in misura molto ridotta, addirittura di due o tre centesimi di millimetro. Perché dunque tale strumento possa stabilire una registrazione utilizzabile dei fenomeni, occorre che tale movimento possa essere amplificato.

I sismografi più antichi erano attrezzati con un sistema di leve amplificatrici, talune delle quali montate addirittura su perni di pietre dure. L'ultima leva del sistema era collegata ovviamente al pesetto terminale del pendolo, mentre la struttura di perno dello strumento rappresenta il fulcro del sistema. La estremità di maggior lunghezza della leva, pilotava a sua volta una leva terminante alla estremità opposta con uno stilo o comunque con l'elemento registratore. Lo stilo passa sulla striscia di carta affumicata avvolta sul tamburo asportando piccole quantità del nerofumo depositato, e lasciando la traccia bianca.

Il meccanismo descritto richiedeva un pesetto del pendolo abbastanza lungo perché una sufficiente quantità di energia potesse essere trasmessa dalla struttura dello strumento allo stilo,

senza portare il pesetto stesso in movimento. I moderni strumenti sismografici utilizzano invece un complesso di elementi amplificatori meccanici, ottici ed elettrici, disposti in maniera che l'energia sismica giunga appena a controllare il movimento di una penna ad azionamento elettrico.

In essenza, un sismografo consiste di un peso sospeso elasticamente, che agisce come elemento sensibile di un dispositivo atto ad amplificare il movimento del peso oppure la sua corrispondente elettrica od ottica, rispetto alla struttura di supporti, nonché un dispositivo che operi la registrazione del movimento rilevato dall'elemento sensore ed amplificato dall'apparecchio successivo.

Una stazione sismologica bene attrezzata impiega per lo meno nove elementi sensibili, tre dei quali rilevano i movimenti verticali e sono accordati rispettivamente per delle oscillazioni a 2, ad 8 ed a 15 secondi.

La seconda serie di tre, aventi una pari risposta ad oscillazioni di 2, 8 e 15 secondi, risponde alle oscillazioni orizzontali nella direzione da Nord a Sud; la terza serie analoga alla seconda rileva invece i tre tipi di oscillazioni che si producono nella direzione da Est ad Ovest.

A. E. Banks spiega come aveva progettato e costruito i suoi sismografi

> Rilevai il primo terremoto, nel 1914, mentre stavo seduto in una casa di campagna dello Iowa. Sebbene questo avesse acceso il mio interesse nella sismologia, non fu prima del settembre 1955, che io feci il primo tentativo nella costruzione di uno strumento. Non avevo avuta precedente esperienza e pertanto avrei dovuto iniziare da principio e progredire al punto dove avrei potuto arrivare con gli elementi che avrei potuto ricavare dai libri.
>
> Gran parte di questi testi erano dedicati particolarmente agli specialisti e presto compresi che anche un sismologo dilettante avrebbe dovuto possedere una formazione adeguata in fisica, geofisica, ingegneria meccanica e meteorologia; più tardi scoprii anche che egli avrebbe dovuto essere capace di operazioni più manuali, quali quella dello scavo di una fossa o di una trincea, o della preparazione di una malta di calce

o di cemento, come appariva utile una certa familiarità con i semplici strumenti ed utensili a mano. Se comunque il dilettante vuole limitarsi ad imprese ed a risultati ad un livello alquanto inferiore di quello ottenuto dagli specialisti, la costruzione come anche la conduzione di un sismografo diviene un'impresa veramente semplice.

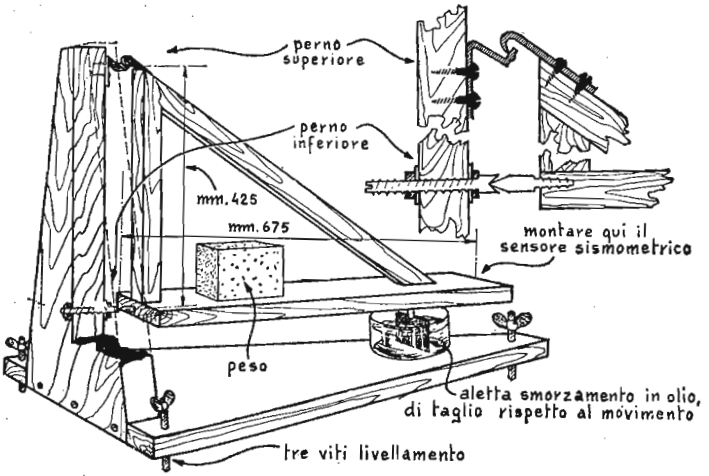
Un sismometro cosidetto « a componente orizzontale », ossia quello che rileva le oscillazioni laterali, può essere costruito in un paio di ore, una volta che si abbia a portata di mano il materiale necessario, vale a dire, qualche ritaglio di legno, alcune viti, un bulone, un pezzo di striscia di ferro ed un pezzetto, di piccole dimensioni, di lamiera metallica. Il complesso consiste essenzialmente di una piccola struttura di legno appesa, come un cancelletto da giardino, ad una struttura di dimensioni maggiori, vedi fig. 103.

Il perno superiore è fatto con due pezzi di striscia di ferro; come viene mostrato nell'illustrazione, un pezzo viene avvitato alla ipotenusa della intelaiatura, lavorata con la lima per portarla a punta e quindi ripiegata a formare una specie di gancio. La punta di tale gancio viene accolta in un alloggiamento realizzato con un punzone nel secondo pezzo che è ancorato alla struttura. Il perno inferiore consiste invece in una vite con la estremità lavorata con la lima sino ad appuntirla; tale punta viene accolta in un piccolo incavo realizzato all'estremità di un bulone di grossa sezione.

La base inferiore viene completata con una serie di tre viti che servono per il suo livellamento, in qualsiasi inclinazione di essa. Tali viti sono regolate in modo che l'elemento orizzontale oscilli avendo, come punto di equilibrio, il punto centrale della struttura.

Il bulone fornisce anche un ulteriore mezzo per la regolazione dell'inclinazione dell'elemento orizzontale e quindi per la leggera variazione del suo periodo naturale.

Il periodo di oscillazione può anche essere corretto entro una gamma abbastanza ampia, mediante l'applicazione di un peso quale quello rappresentato da un mattone o da un blocco metallico, sull'elemento orizzontale del triangolo oscillante. In tale caso il blocchetto serve proprio da peso per una sorta di pendolo, per cui il periodo di oscillazione varia con l'aumento della distanza intercorrente tra esso ed il perno rispetto al quale il pendolo oscilla. Il periodo di oscillazione del pendolo viene stabilito in maniera empirica, impartendo a questo una leggera spinta singola, lasciandolo immediatamente

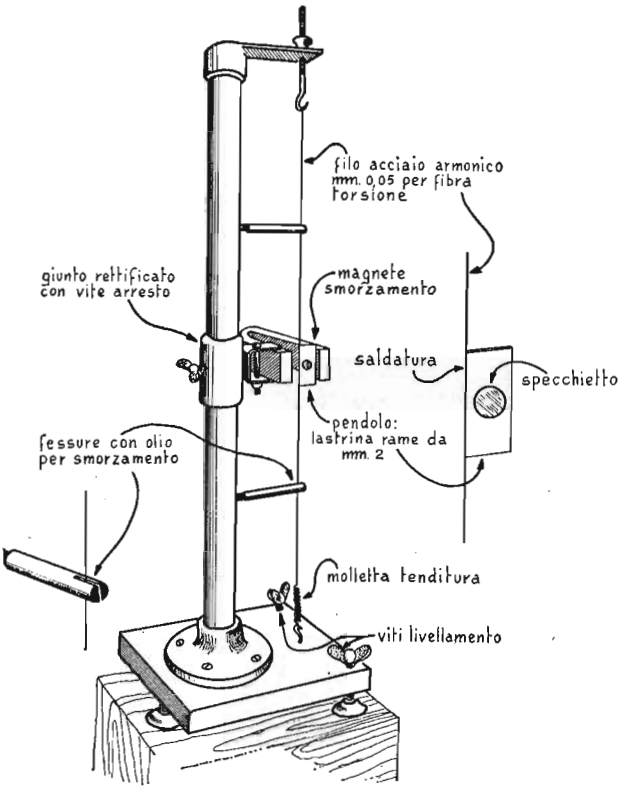


103. Sismometro per rilevare movimenti sismici orizzontali della terra.

libero, e quindi contando il numero di secondi impiegati dal pendolo per compiere una oscillazione completa ossia di andata e ritorno.

Infine viene munito di un dispositivo di smorzamento delle oscillazioni e quindi viene inserito in un adatto cofano, allo scopo di proteggerlo dalle correnti di aria. Un pezzo di metallo non magnetico delle dimensioni di 50 × 50 millimetri viene saldato nella fessura esistente nella testata di una vite a legno e questa viene avvitata al fondo dell'elemento orizzontale del gruppo oscillante. Tale piastrina deve risultare immersa in una vaschetta di olio fluido da macchine. La profondità alla quale questa paletta è immersa nel fluido viene regolata ruotando, più o meno, la vite alla quale questa è collegata e la regolazione deve essere fatta in modo da ottenere la condizione che il pendolo possa compiere due sole oscillazioni complete, prima di immobilizzarsi del tutto.

Una versione più elaborata di un'apparecchiatura sostanzialmente uguale è rappresentata dal sismometro a torsione Wood Anderson, fig. 104: la struttura di legno questa volta è costituita da una base pesante di metallo e da un tubo di 35 centimetri di lunghezza e di 12 millimetri di diametro. Un filo del diametro di 0,025 viene teso tra la staffa, alla estremità del tubo, e la base. Il bordo maggiore di un elemento



104. Sismometro che rivela il movimento orizzontale mediante la leggera torsione di un filo sottile.

rettangolare dello spessore di 1,5 millimetri e delle dimensioni di 12 × 25 viene saldato od incollato al centro del filo. Tale elemento adempie alla funzione di pendolo.

Il pendolo viene smorzato nelle sue oscillazioni da un magnete permanente a ferro di cavallo la cui posizione può essere corretta allo scopo di variare il grado di smorzamento da esso prodotto. Il filo passa attraverso scanalature riempite di olio denso, alle estremità di 2 colonnine ancorate ad angolo retto lungo il tubo metallico, a distanze identiche, rispetto al pendolo: la funzione di tali colonnine è esclusivamente quella di smorzare le vibrazioni del filo.

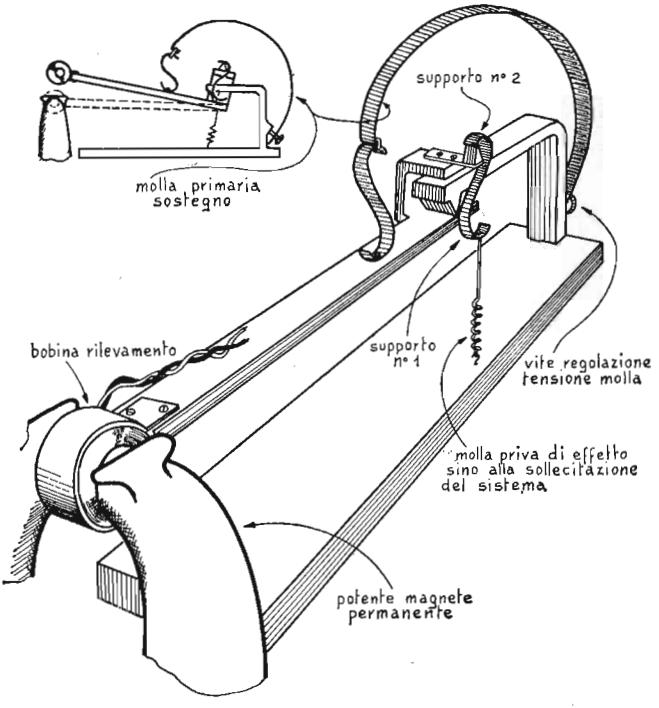
Se lo strumento viene esposto ad ampie vibrazioni di temperatura, una molla cilindrica deve essere inserita tra l'estremità inferiore del filo ed il punto di attacco di questa alla base, allo scopo di compensare le variazioni che potrebbero intervenire nella risposta dello strumento, a causa delle contrazioni e dilatazioni termiche del filo e del tubo di supporto. Poiché una molla comune tenderebbe a causare la torsione del filo, è opportuno usare una molla speciale; in particolare occorre usare una molla doppia, cioè con metà della lunghezza avvolta in un senso e con l'altra avvolta in senso opposto, così che le due torsioni si annullino a vicenda.

I movimenti laterali della terra scuotono il lato ancorato del rettangolino rispetto al suo bordo libero. Il filo, che in questo caso adempie alla funzione di cerniera o perno, subisce delle leggere torsioni durante le oscillazioni del rettangolo stesso.

I sismometri destinati a rilevare delle vibrazioni verticali consistono di solito in un pendolo imperniato per il movimento verticale e sostenuto in una sorta di equilibrio orizzontale, da una serie di molle: nella fig. 105 è mostrato lo schema di una delle possibili disposizioni per un tale strumento. Una molla principale sostiene l'elemento orizzontale del pendolo trattenendolo contro una sorta di fulcro molto sottile; un secondo fulcro, altrettanto sottile, è montato su di un corto elemento disposto ad angolo retto rispetto all'elemento principale orizzontale. Su quest'ultimo fulcro si appoggia una seconda molla piegata ad « S », la quale si oppone, con la sua elasticità, alla forza prodotta dalla molla principale, dipendendo dalla posizione del pendolo e pertanto dall'allineamento dei 2 fulcri. La regolazione della seconda molla ha come effetto quello dell'alterazione del periodo naturale di oscillazione del pendolo.

Nel caso di questo strumento, il pesetto del pendolo consiste in una bobina di filo di rame isolato ed avvolto; essa si muove fra i poli di un potente magnete permanente che, in origine, serviva all'eccitazione di una valvola tipo magnetron, residuato bellico. La corrente indotta nella bobina, allorché essa si sposta lungo le linee di forza del magnete, viene dissipata da una resistenza collegata tra i terminali dell'avvolgimento e così smorza il movimento di una entità che varia in funzione del suo valore chimico.

Il mio primo strumento era del tipo a cancelletto, l'elemento principale orizzontale era costituito da un correntino



105. Sismometro progettato per rivelare i movimenti verticali della terra.

di legno della sezione di 25 × 100 millimetri e della lunghezza di 675 millimetri; una serie di blocchi applicati sul corrente in questione adempivano alla funzione di pesetti per il pendolo. Scoprii che la sensibilità dello strumento varia sia con l'angolo a cui l'elemento orizzontale è collegato al resto, come anche con la proporzione dello smorzamento.

Se l'angolo è troppo acuto, l'oscillazione risulta impercettibile; se invece esso non è abbastanza acuto, il pendolo tende a non tornare in equilibrio al centro della struttura di supporto, la regolazione critica delle condizioni del pendolo si trova appunto tra questi due estremi. Per trovare tale condizione ed allo stesso tempo per trovare il giusto peso e la giusta posizione del pesetto alla quale quest'ultimo oscilli a regime voluto, occorre una certa serie di prove; questa ricerca,

comunque, non comporta molta perdita di tempo, una volta che sia stato stabilito il punto di appoggio.

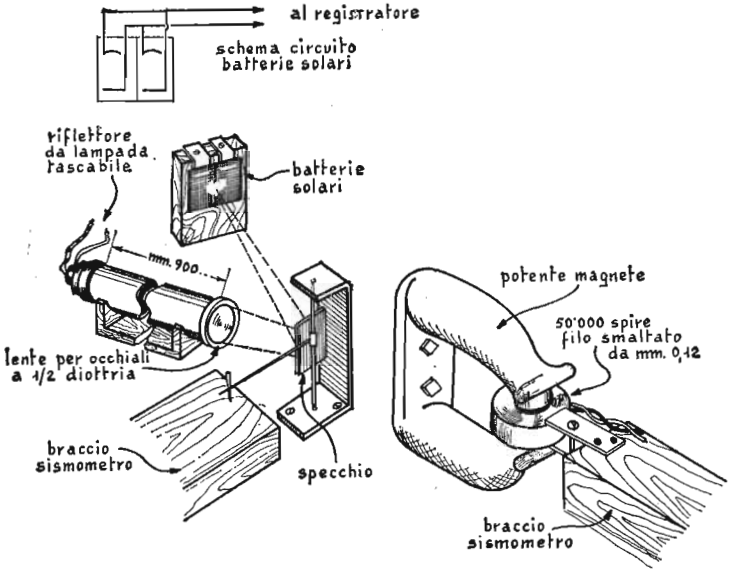
L'elemento orizzontale del pendolo deve ovviamente esser collegato ad un amplificatore che ne aumenti e renda visibile l'ampiezza dell'oscillazione; nella prima versione, tale elemento consisteva in un complesso di leve: esso funzionava con adeguata efficienza ma presentava una tale proporzione di attriti, che sarebbe occorso un pendolo del peso di ben 45,4 chilogrammi per farlo funzionare in modo soddisfacente. Fu così pertanto che mi orientai verso il sistema puramente elettronico, descritto da E. W. Kammer [v. fig. 101].

Per quanto il sistema funzionasse perfettamente e con precisione come era stato descritto dal suo progettista, i sismografi basati su tale principio danno luogo a registrazioni in cui le escursioni della penna scrivente rappresentano la velocità della vibrazione della terra; perciò io mi decisi a tentare la progettazione di uno strumento a spostamento, nel quale fossero comunque utilizzati degli elementi elettronici.

La soluzione al problema venne trovata mentre, rovistando in un negozio di materiale elettronico residuato di guerra, ebbi occasione di adocchiare una economica cellula fotovoltaica, ossia una delle così dette batterie solari che sono usate negli esposimetri fotoelettrici. Perché dunque non sostituire una di queste cellule alla carta fotosensibile usata nell'apparecchio realizzato secondo quel progetto ed effettuare il pilotaggio dell'amplificatore dalle tensioni di uscita di tale organo? Il principio in questione era stato utilizzato per anni, allo scopo di amplificare l'ampiezza della deflessione dell'elemento mobile nei galvanometri.

In effetti per una tale soluzione sono necessarie due cellule fotovoltaiche, le quali sono collegate fianco a fianco, in maniera che il fascetto di luce riflesso dallo specchio cada, nel suo spostarsi, sull'una o sull'altra di esse. La differenza tra la tensione di uscita di una cellula e quella dell'altra, sta ad indicare l'entità della deflessione e quindi lo spostamento dello specchio.

Le fotocellule da me usate erano state prodotte dalla International Rectifier Corporation di El Segundo, California; esse sono del tipo B-2-M, e sono vendute per circa 1500 lire cadauna. Il sistema citato funziona bene con qualsiasi conveniente sorgente luminosa; il sistema di illuminazione di un proiettore per dispositive formato Leica funziona ottimamente. È, d'altronde, anche possibile realizzare un'adatta sorgente lu-



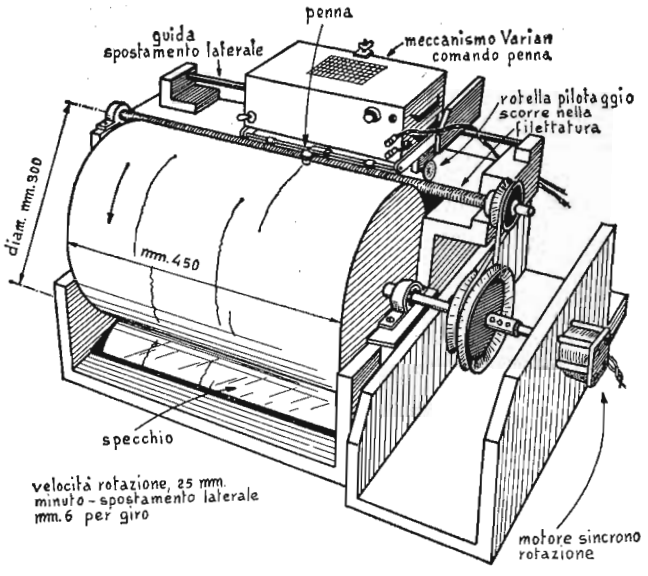
106. Elementi ottici ed elettrici, per collegare il sismometro agli amplificatori.

minosa partendo dal portalampade e dal riflettore di una comune torcia elettrica, da un pezzo di tubo di cartone e da una lente per occhiali, come in fig. 106.

Sebbene uno specchio con argentatura nella parte posteriore possa ancora andar bene, uno argentato invece sulla superficie frontale assicura risultati assai migliori. Lo specchio può essere montato su due perni che sono accolti in leggere affossature, realizzate con un punzone in una striscia di metallo piegata ad « U », realizzando le affossature stesse, prima che la striscia venga piegata.

La leva che collega lo specchio al pendolo può essere rappresentata da un corto pezzetto di filo di acciaio armonico magnetizzato; tale filo è collegato magneticamente ad un chiodino di acciaio, applicato all'estremità libera dell'elemento oscillante del sismografo e da questo mosso.

La tensione di uscita delle batterie solari, viene collegata direttamente ad un registratore scrivente, modello Varian G - 10; tale registratore, realizzato appunto dalla Varian As-



107. Tamburo autocostruito per la registrazione della traccia di movimenti tellurici, su carta da imballaggio e quindi di basso costo.

sociates, di Palo Alto, California, comprende un amplificatore interno ad elevato guadagno, con il quale le batterie solari possono facilmente azionare la penna scrivente al massimo della sua deflessione. Il registratore è realizzato in due sezioni: l'amplificatore e il complesso di azionamento della penna in una ed il meccanismo di movimento della carta, nella seconda; tali sezioni possono essere acquistate separatamente.

Sebbene io possieda entrambe le sezioni, ho sostituito il meccanismo originale di spostamento della carta con un tamburo autocostruito, fig. 107. Un sismografo convenzionale può consumare molta carta costosa quando esso viene fatto funzionare ad elevata velocità, come occorre per mettere in evidenza i dettagli dei microsismi per 24 ore al giorno.

Ma il tamburo della mia realizzazione è coperto con un pezzo di comune carta da involgere larga 45 e lunga 95 centimetri. Essa compie 2 rotazioni ogni ora. La penna si muove lungo il tamburo con uno scorrimento laterale che la fa avanzare di circa 6 millimetri per ogni giro di tamburo stesso.

Pertanto, se la carta si muove ad una velocità leggermente maggiore, a 25 millimetri al minuto, un rullo di tale carta, della lunghezza di 450 metri, sarà sufficiente per mantenere il dispositivo di registrazione continuamente in funzione per un periodo di 3 anni. Un rullo di tale materiale costa non più di 3.000 lire.

Per l'intera costruzione, ho fatto uso di utensili a mano, eccezion fatta per il tamburo rotante, il quale doveva essere realizzato con maggiore precisione, ossia con una approssimazione di 0,8 millimetri, altrimenti la penna avrebbe potuto scivolare su di esso. Un'officina della zona fu incaricata da me per la lavorazione di tale tamburo e per tale opera mi sottopose un conto di L. 8.000, comprensive di tutti i materiali necessari.

L'albero filettato di comando dello scorrimento laterale della penna è rappresentato da un pezzo di barra filettata, acquistato presso un fornitore di metalli semilavorati. Le filettature in questione sono impegnate su un paio di bronzine ricavate da un serie di costruzioni Meccano; tali bronzine sostengono una sorta di carrello di legno compensato il quale sostiene il meccanismo della penna. Attualmente ho a disposizione due complessi di tamburi rotanti, nonché un registratore convenzionale Esterline-Angus.

Contrariamente all'impressione che questa descrizione può determinare, la costruzione di un sismografo non è difficoltosa né lunga da portare a termine. Alcuni giorni or sono, avevo intrapreso la costruzione di un nuovo esemplare di sismometro, verso il mezzogiorno: alle cinque di pomeriggio ebbi occasione di usarlo per captare un terremoto il cui epicentro era distante circa 9.000 chilometri.

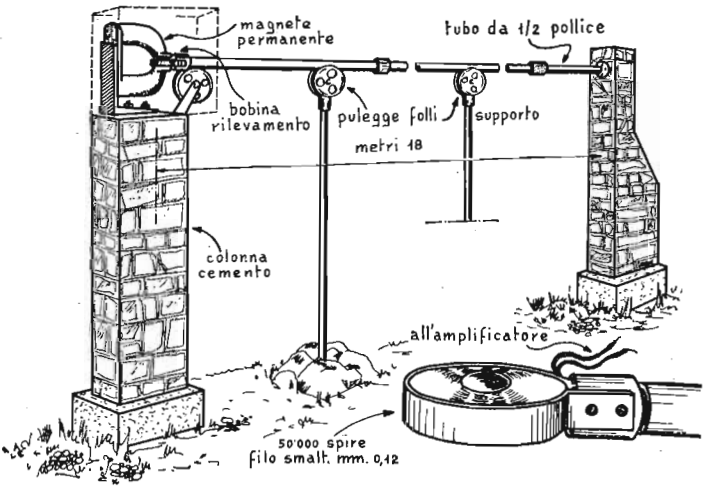
Per caso, feci una annotazione degli orari in cui le registrazioni erano state fatte, con riferimento agli orari campione, emessi dalle stazioni Statunitensi WWV, usando un orologio elettrico di cui la lancetta dei secondi era stata munita di un contatto flessibile elettrico, in maniera da chiudere il circuito una volta al minuto, scaricando così un condensatore da 2 microfarad sull'avvolgimento di azionamento della penna, così da costringere questa a registrare, sulla penna, un segno brevissimo e brusco, facilmente riconoscibile ed avente appunto la funzione di temporizzatore.

L'osservatore casuale che si aggiri all'interno di una stazione sismografica può non essere colpito dalle possibilità che tali strumenti a lenta velocità di scorrimento della zona per-

mettono. Le primissime esperienze in tal senso correggeranno ben presto tale impressione. La costruzione, il collaudo e i tentativi allo scopo di migliorare i sismografi già esistenti mi hanno trattenuto lontano dal televisore, senza rimpianti, per un mese intero; anche adesso ho in cantiere più progetti di quanti ne avessi all'inizio di questo hobby.

Sto, ad esempio, tutt'ora, cercando di togliere le anomalie presentate da uno strumento del tipo ad affaticamento che avevo messo insieme oltre un anno fa.

Questo strumento, incidentalmente, è costruito su due suporti distanziati 18 metri; tra i due supporti esiste un lungo tratto di tubo metallico di mezzo pollice. Una estremità di tale tubo è fissata al primo supporto, l'altra invece è munita di una bobina che si muove tra i poli di un magnete permanente fissato, questo, al secondo supporto. Quando un terremoto comprime ed espande alternativamente la crosta terrestre e quindi anche il tratto di questa compreso tra i due supporti, la bobina diviene sede di una differenza di potenziale indotto, fig. 108. Sfortunatamente detta disposizione è per il momento sensibile alle correnti di aria ed alle vibrazioni del suolo, determinate dal vicino traffico.



108. Versione di A. E. Banks adattata del sismometro a torsione di Benioff.

Sismografo a pozzetto

I sismografi costruiti da Banks sono modelli convenzionali, se si paragonano a quello mantenuto in funzione da Elmer Rexin, sovraintendente alla manutenzione della Nunn-Bush Shoe Co., in Milwaukee, Wis Rexin aveva denominato il suo strumento, abbastanza appropriatamente, un « sismografo a pozzetto ».

Le vibrazioni della terra nelle vicinanze di tale strumento danno luogo a delle variazioni simpatiche del livello al quale l'acqua si ferma in un pozzo abbandonato: introducendo semplicemente un galleggiante nel pozzo e collegandolo meccanicamente ad un registratore scrivente, Rexin aveva messo insieme un sismografo. Sebbene tale dispositivo non fosse senza precedenti, esso è il solo strumento di questo tipo mantenuto in funzione da un dilettante, secondo quanto io sappia.

Dei forti movimenti tellurici determinano spesso l'espulsione di quantità di acqua dal suolo, almeno in talune regioni. Piccoli crateri di sabbia, somiglianti a quelli dei vulcani, marcano spesso i punti dove tale acqua sotterranea è stata eruttata dal suolo sotto le pressioni prodotte dal movimento. Il flusso dei pozzi artesiani ed il livello generale dell'acqua nei pozzi della vicinanza del terremoto viene generalmente disturbato.

Molti pozzi sono stati muniti di dispositivi per la registrazione del livello dell'acqua, come anche della pressione idrostatica nell'acqua stessa: talune di queste registrazioni hanno mostrato la presenza delle onde tipiche dei terremoti.

Mi sento obbligato verso il Signor Rexin, come anche ad « Annotazioni Sismiche » giornale della sezione occidentale della società americana di sismologia, per la seguente descrizione dell'apparecchio a pozzetto di Milwaukee.

Elmer Rexin spiega la sua trasformazione di un comune pozzo in un rivelatore di terremoti

Nel 1925 la Nunn-Bush Shoe Co. decise di aumentare le proprie disponibilità di acqua, scavando un nuovo pozzo alla profondità di 114 metri. Tale pozzo venne usato sino al 1945,

quando delle infiltrazioni di gas contaminarono l'acqua; in queste condizioni esso venne disattivato e chiuso. Nel 1946 il servizio costiero e geodetico statunitense ricevette il permesso di installare nel foro un registratore del livello dell'acqua. Poco tempo dopo, lo strumento era entrato in funzione; nelle registrazioni effettuate per il livello risultarono presenti gruppi di linee verticali poco spaziate.

Tali linee accesero la mia curiosità e pertanto consultai il capo geologo del servizio geodetico del Wisconsin a proposito di esse: sospettammo che dei movimenti tellurici avessero potuto causarle. Egli pertanto richiese rapporti a tale proposito da Washington e quando le relazioni giunsero, tre settimane più tardi, constatammo che i nostri sospetti erano fondati. I terremoti che apparivano dalle relazioni coincidevano, in data ed orario, con quelle registrate dall'apparecchio inserito per tutt'altra funzione nel pozzo Una volta che la nostra curiosità era stata così soddisfatta, lasciammo cadere l'argomento ed io stesso non dedicai più alcuna attenzione al pozzo.

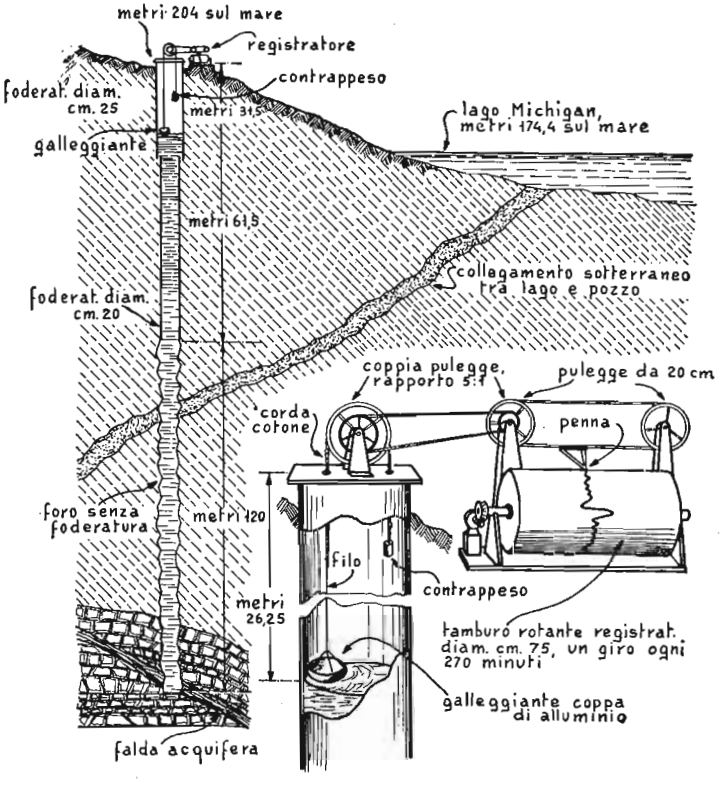
Il pomeriggio del 7 maggio 1947 però, accadde qualcosa che doveva determinare una radicale variazione al modo in cui io spendevo le mie ore libere. Un impiegato della compagnia si precipitò nel laboratorio di manutenzione alle ore 3,38 e mi informò che l'intera sala caldaie stava vibrando ed egli stesso aveva udito un profondo rumore rombante; pochi secondi dopo anche il capo tecnico giunse di corsa, narrando la stessa storia.

Sebbene io non avessi sentito od udito alcunché, mi chiedevo se il disturbo notato dai miei collaboratori potesse essere stato causato da un movimento tellurico; pertanto tutti e tre ci portammo al pozzo e trovammo, inserite nella normale registrazione del livello dell'acqua, le famose linee, questa volta però molto più ampie.

Telefonai all'ufficio del quotidiano della mia città ed il cronista di turno provò a convincermi che la scossa era derivata da una potente esplosione verificatasi nella parte meridionale della città. Ma mentre stavo parlando con lui, sentii, attraverso il telefono un altro cronista gridare che Padre Joseph Francis Carroll, preside della sezione di fisica dell'Università Marquette, aveva appena dato relazione di un movimento tellurico locale. Da quel giorno in poi sono stato un entusiasta della sismologia.

Il giorno dopo, mi incontrai con Padre Carroll e gli dissi qualcosa in relazione al pozzo: egli apparve immediatamente interessato e con il suo incoraggiamento decisi di applicare nel pozzo un registratore perfezionato, che mi avrebbe fornito un grafico di registrazione delle onde dei terremoti. In questo nuovo dispositivo, v. fig. 109, il movimento dell'acqua viene trasferito dal pozzo al foglio della registrazione, attraverso un galleggiante ed un cavo munito di contrappeso fatto passare su di una puleggia disposta al disopra del pozzo.

Questa puleggia è a sua volta collegata con una cinghia ad una coppia di pulegge coassiali le quali portano una cinghia trapezoidale a cui è collegata la penna scrivente. L'oscillazione



109. Sismografo realizzato in un pozzo abbandonato.

delle due pulegge accoppiate determina il movimento in avanti ed indietro in linea retta della penna stessa. Il foglio della registrazione viene mosso sotto la penna da un tamburo azionato a motore, il quale compie una rotazione intera nel tempo di circa 4 ore mezzo.

Il nuovo registratore funzionò ancor meglio di quanto noi potessimo attenderci; la prima segnalazione che apparve non derivava dalle onde di un terremoto: i segni in questione erano delle curve estremamente lunghe che, nel numero di due ogni 24 ore, avevano la forma di perfette oscillazioni sinusoidali.

In precedenza Padre Carroll ed io avevamo discusso circa le maree del lago Michigan, ed io stesso consultai la biblioteca dell'Osservatorio Meteorologico di Milwaukee. Un successivo rapporto steso dall'arma del genio dell'Esercito Statunitense mostrava che in primavera le maree lunari e solari, combinate, avrebbero avuto una risultante di 50 millimetri circa; allorché io feci un controllo della registrazione del pozzo a confronto con le maree previste, e feci anche misurazioni dirette delle stesse sulla spiaggia, constatai che tutte e tre le situazioni coincidevano.

Notai allora che anche altre curve stavano apparendo sul grafico; sospettai che causa di alcune almeno di esse poteva essere qualche variazione nella pressione barometrica verificatasi nella zona: un microbarografo ottenuto in prestito dalla Johnson Service Compay di Milwaukee dimostrò fondata anche questa ipotesi.

Il giorno 29 maggio 1947, l'acqua aumentò e diminuì di livello di 18 centimetri durante un periodo di tempo di 6 ore e ciò, in aggiunta alle variazioni di livello previste in funzione delle maree e della pressione barometrica. Il giorno dopo appresi che un'onda di marea aveva spazzato questo versante del lago con una notevole perdita di beni immobili. Perciò io ebbi da aggiungere anche le onde di marea alla lista in continuo aumento di eventi che determinavano disturbi nelle registrazioni fatte nel pozzo.

Le onde del terremoto venivano registrate sulla zona di carta nello stesso tempo ed era pertanto necessario liberare quelle che le confondevano, allo scopo di meglio interpretare le registrazioni del terremoto. Mentre stavo esercitandomi in questa

impresa ebbi anche occasione di constatare un effetto curioso: man mano che le zone di alta pressione barometrica si muovevano lungo il lago, il livello dell'acqua del pozzo tendeva ad aumentare invece che diminuire.

Ma questa volta avevo appreso a distinguere le piccole segnalazioni determinate da brusche variazioni di pressione barometrica durante i forti uragani. Le maree, le onde di marea e le variazioni della pressione barometrica sul lago apparivano come se operassero in senso opposto sul livello del pozzo. Quando l'acqua nel lago saliva, quella del pozzo scendeva e viceversa.

Padre Carroll ed io discutemmo a tale proposito con Padre James B. Macelwane, allora capo dell'Istituto di Tecnologia all'Università di St. Louis: giungemmo alla conclusione che il pozzo dovesse essere collegato con il lago attraverso un condotto naturale di qualche genere. Ne derivava che l'effetto da noi osservato era quello stesso di un normale funzionamento di un tubo ad « U », ossia in un sistema di vasi comunicanti con il pozzo che rappresentava un braccio della « U » mentre l'altro braccio era rappresentato dal lago.

Il più forte terremoto registrato dal complesso installato nel pozzo durante i suoi 12 anni di funzionamento giunse a determinare una variazione di ben 357,5 centimetri nel livello dell'acqua esistente nel pozzo: si trattava del terremoto verificatosi nell'Assam-Tibet il 15 agosto del 1950, alla distanza di 19.200 chilometri da Milwaukee. Fu questo uno dei 6 più gravi terremoti mai registrati dai sismologhi: esso costò ben 5.000 vite umane e lasciò 5 milioni di persone senza tetto. Le vibrazioni iniziali di questo fatale fenomeno raggiunsero Milwaukee alle ore 8,35 del mattino e continuarono fino alle ore 9 della sera.

Il terremoto verificatosi il 18 agosto 1959 nel Montana determinò una variazione di 75 centimetri nel livello dell'acqua del pozzo e le sue vibrazioni continuarono per circa due ore e mezzo.

La sensibilità del pozzo ai movimenti tellurici è probabilmente da attribuire alla conduttura piena di acqua che si collega al lago alla profondità di 120 metri, ma fino ad ora non è stato messo a punto alcun sistema atto a controllare questa teoria. Se la nostra teoria è corretta, il meccanismo di funzionamento del fenomeno dovrebbe essere molto simile a quello

di una siringa, in cui la cavità o condotto esistente opera come se si trattasse della peretta di gomma. La pressione determinata dalle vibrazioni trasmesse lungo la terra dal terremoto doveva tendere a comprimere ed a dilatare la spazio esistente nel condotto, forzando così l'acqua in direzione del pozzo e quindi aspirandola nuovamente.

Come sismografo il dispositivo nel pozzo è molto sensibile ed anzi mi sono trovato in leggera difficoltà al momento di distinguere le onde primarie e secondarie di terremoti di piccola ampiezza.

Al momento attuale, sono interessato a mettere insieme un apparato per la misurazione di pressioni variabili secondo un periodo più breve. Tale apparato consisterà di un microfono inaccessibile all'acqua, il quale, immerso nel pozzo, azionerà il dispositivo elettrico di registrazione, attraverso un amplificatore ad alto guadagno. Mi era infatti capitato una volta di calare un microfono sino alla profondità di 48 metri in un pozzo e quindi avevo rilevata la forma regolare delle onde di pressione, ma la guarnizione di tenuta si ruppe dove il conduttore elettrico entrava nel contenitore a tenuta di acqua: è facile immaginare ciò che le registrazioni mostravano dopo tale fenomeno.

5

COME SI SEGUONO I SATELLITI ARTIFICIALI TERRESTRI IN VOLO

Chiunque abbia accesso ad un pianoforte ed a un apparecchio radio in grado di ricevere i segnali provenienti da un satellite artificiale, può misurare l'altezza alla quale un satellite si trova. È anche possibile ottenere risultati analoghi, sebbene non altrettanto precisi, usando una serie di bacchette ed un orologio con pulsante di arresto e di azzeramento della lancetta dei secondi.

I satelliti artificiali e le tecniche ad essi associate hanno dischiuso nuovi orizzonti per gli scienziati dilettanti. Numerosi dilettanti parteciparono infatti ai programmi « Osservazione della Luna » e « Raggio di Sole », allestito dal Comitato Nazionale Statunitense dell'Anno Geofisico Internazionale. Tali attività guidano dei dilettanti esperti nella conduzione di complesse stazioni che rendono disponibili osservazioni di valore scientifico immediato. Il dilettante, comunque, non abbisogna certo di una complessa apparecchiatura per mantenere traccia del percorso di un satellite o anche per prevedere, con una ristretta approssimazione, quanto tempo un satellite rimarrà in orbita: chiunque può farlo.

Il dilettante comunque, che preferisce fare osservazioni con un minimo di attrezzatura, può iniziare il suo hobby con non più di una attrezzatura minima, ossia di tre lunghi listelli di legno ed un orologio con pulsante di arresto ed azzeramento della lancetta dei secondi.

Queste tecniche richiedono che l'osservatore sosti all'aperto, spesso prima dell'alba; per il dilettante però che preferisce una

maggiore comodità vi è un altro metodo per mantenere il controllo del percorso dei satelliti, a patto che questi trasmettano almeno dei segnali radio, come d'altra parte spesso succede. Molte radio comuni possono essere munite di convertitori esterni od interni che rendono possibile la ricezione delle onde corte su cui avvengono le emissioni da parte dei satelliti artificiali. Anche nel caso di ricevitori privi di convertitore, questi sono in grado di subire qualche semplice modifica e divenire in grado di ricevere le citate onde corte.

Anche i convertitori, sotto forma di gruppi da applicare agli apparecchi radio, possono essere acquistati presso i grandi empori di materiale radio per cifre dell'ordine delle 30.000 lire. Quei dilettanti che preferiscono autocostruirsi il convertitore, possono trovare le istruzioni complete per tale realizzazione, nel manuale americano per radiodilettanti *The Radio Amateur's Handbook*: il costo totale delle valvole e degli altri componenti necessari alla costruzione è di circa 9.000 lire.

Ralph H. Lovberg e Louis C. Burkhardt, fisici presso il laboratorio scientifico di Los Alamos, hanno suggerito un modo con cui il dilettante può determinare l'altezza di un satellite, mentre questo sta passando sulla zona. Il metodo è basato sulla deriva Doppler, ossia l'apparente diminuzione di frequenza che si nota quando la sorgente del suono, quale il fischio di un treno, si allontana dal punto di osservazione. (È stato con questo metodo che Lovberg e Burkhardt appresero che il primo satellite stava volando al disopra di Los Alamos ad un'altezza di 272 chilometri di notte e di 416 chilometri di giorno, misure queste che sono in ottimo accordo con le corrispondenti, fornite dall'Osservatorio Smithsonian).

I satelliti equipaggiati di stazioni trasmittenti possono infatti essere logicamente accostati agli oggetti in movimento che producono un fischio od un suono.

I trasmettitori radio emettono segnali a frequenze prestabilite; nel caso dei primi due satelliti messi in orbite le frequenze irradiate erano di circa 20 e 40 megacicli al secondo.

Per misurare la distanza tra l'osservatore ed un satellite, un radio ricevitore viene accordato sul segnale emesso dal satellite stesso ed il segnale viene anche mescolato con un altro generato da un oscillatore locale di frequenza leggermente inferiore

o superiore. La frequenza di differenza viene poi amplificata ed inviata ad un altoparlante dal quale viene trasformata in segnale acustico. Per esempio quando un segnale di 40 megacicli, viene mescolato con un segnale generato sul posto ed avente la frequenza di 39.997 megacicli, la frequenza risultante di 3.000 cicli, viene amplificata e quindi produce un suono fischiante alla tonalità di circa due ottave al disopra del do medio; il periodo di tempo durante il quale si nota la variazione di altezza del suono può durare più di 5 minuti.

La distanza del satellite viene determinata misurando la frequenza del suono durante tale periodo, a brevi intervalli, annotando il tempo in cui ciascuno dei suoni è stato riconosciuto. La frequenza del suono a ciascun intervallo può essere valutata comparandola con le note emesse da un pianoforte o, preferibilmente, seguendo il fischio stesso nella sua variazione di frequenza, con un oscillatore di audiofrequenza di accurata calibrazione.

Allorché il segnale ed il suono per il confronto (pianoforte od oscillatore elettronico), coincidono, ossia sono a frequenza identica e quindi a battimento zero, l'orario a cui tale constatazione viene fatta deve essere annotato, in funzione delle indicazioni fornite dalla lancetta dei secondi di un orologio o di una sveglia.

Descrizione di Ralph H. Lovberg e Louis C. Burkhardt, del metodo radio-pianoforte per la localizzazione di un satellite

Nel caso delle misurazioni da noi condotte sul primo satellite artificiale usammo un ricevitore convenzionale modello Hallicrafter, SX - 28, predisposto per ricevere alla frequenza di 40 megacicli. L'oscillatore locale di battimento o di nota venne trascurato, mentre venne utilizzato un frequenzimetro residuato di guerra modello BC-221, accoppiato lascamente al conduttore della discesa di antenna per mezzo di due fili isolati, ritorti insieme.

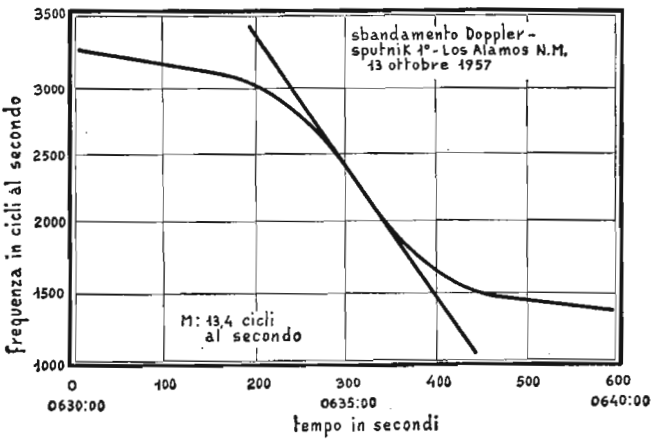
Il generatore di segnali viene predisposto in maniera da produrre una oscillazione radio inferiore, per 3.000 cicli, al disotto della frequenza propria del satellite, allorché questo viene per la prima volta rilevato. Tale condizione ha, come risultato, una nota udibile, emessa all'uscita del ricevitore.

La nota viene allora inviata ad un altoparlante assieme con il segnale di uscita di un oscillatore ad audiofrequenza. In un ciclo tipico di ricerca, l'oscillatore audio viene regolato in modo da produrre una nota appena più bassa di quella del satellite, diciamo di 2.500 cicli al secondo; quindi si attende che anche la nota audio derivata dal battimento con il satellite scenda allo stesso valore. La nota di battimento tra le due note viene dapprima sentita come un suono modulato che diminuisce di frequenza in una lenta discesa, con l'attenuazione della nota da 2.500 cicli.

A questo momento il suono diviene uniforme, vengono registrati contemporaneamente il ritmo e la frequenza (ad esempio 2.500 cicli al secondo) e rapidamente si provvede alla variazione dell'oscillatore ad audiofrequenza, portandone la frequenza prodotta al valore di 2.400 cicli, dopo di che si attende di nuovo sino a quando le due tonalità si combinino nuovamente.

La tabella risultante delle frequenze e degli intervalli di tempo viene poi trasformata in una curva analoga a quella visibile nella fig. 110, la quale si riferisce appunto al passaggio del primo satellite terrestre in orbita. Successivamente si traccia una linea tangente alla curva nel punto più acuto.

La pendenza della linea tangente rappresenta il numero di



110. Curva per la determinazione dell'altezza di un satellite.

cicli al secondo di cui la frequenza varia appunto ogni secondo e in proporzione alla distanza del satellite.

Se chiamiamo « m » tale pendenza, la distanza in occasione del massimo avvicinamento del satellite viene fornita dalla semplice formula ($d = fv^2/cm$) dove « f » indica la frequenza del trasmettitore del satellite (40 megacicli), « v » indica la velocità del satellite stesso in chilometri al secondo (7,840), « c » è la velocità della luce in chilometri al secondo. La velocità « v » varierà di una certa proporzione rispetto ai 7,840, in dipendenza di fattori diversi, quale anche l'eccentricità dell'orbita del satellite.

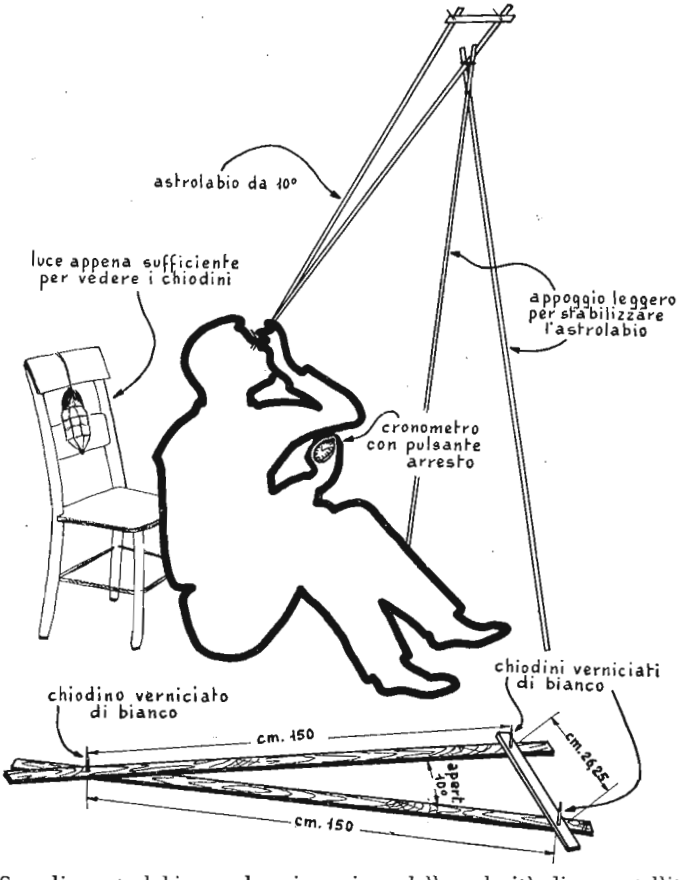
Il dilettante può ottenere indicazioni abbastanza accurate delle velocità dagli Enti Scientifici quale l'Osservatorio Astrofisico Smithsonian; tali indicazioni, inoltre, sono anche fornite dalla stampa normale, quotidiana, specie nelle epoche immediatamente successive al lancio dei vari satelliti.

Delle bacchette ed un orologio con pulsante di arresto della lancetta dei secondi: ecco l'occorrente per un metodo ottico per il tracciamento dei satelliti in volo, suggerito da Walter Chestnut, fisico al laboratorio nazionale Brookhaven

Se un oggetto si trova in una costante orbita circolare attorno alla terra, si può dire che la forza gravitazionale della terra attrae l'oggetto stesso con un'energia di entità identica alla forza centrifuga di cui esso è animato.

La relazione può essere espressa in termini matematici, in modo che l'altitudine dell'oggetto possa essere determinata dalla semplice misurazione del numero di gradi attraversati dal satellite in un secondo, quando questo passa sulla verticale del punto di osservazione. Questa velocità angolare può essere misurata cronometrando il passaggio del satellite quando questo doppia, nel suo movimento, delle stelle o degli altri corpi celesti, la cui posizione sia ben nota.

Se un dilettante non ha a disposizione una carta stellare, l'angolo in questione può essere ugualmente misurato con facilità, con l'aiuto di un astrolabio fisso, ossia un triangolo di listelli di legno inchiodati insieme e sostenuti nella maniera illustrata nella fig. 111.



111. Semplice astrolabio per la misurazione della velocità di un satellite artificiale.

L'astrolabio forma un angolo di 10 gradi; i chiodi servono da mirini di puntamento; essi dovrebbero pertanto essere verniciati in bianco in maniera da poter essere chiaramente visibili, anche in condizioni di mediocre illuminazione.

La costruzione dello strumento dovrebbe essere fatta in vista della massima possibile leggerezza dato che esso deve essere ruotato continuamente e rapidamente in posizione, allorché un satellite viene localizzato. Gli altri due chiodi esterni vanno

piazzati in linea con il percorso apparente del satellite e quindi mantenuti in tale condizione.

Il numero di secondi viene allora contato dal momento in cui l'oggetto in orbita sembra toccare appena il primo chiodo, sino a quando esso si venga a trovare nelle identiche condizioni sulla verticale del secondo chiodo, sfiorandone la punta. La corrispondente altezza in chilometri può essere rivelata dalla tabella allegata in fig. 112.

TEMPO IMPIEGATO PER UN PASSAGGIO SU 10 GRADI	ALTITUDINE IN MIGLIA (1,6 km.)
2	56
3	84
4	112
5	138
6	166
7	193
8	219
9	246
10	273
12	325
14	375
16	426
18	477
20	526
25	650
30	770
35	890
40	1,000
50	1,225
60	1,450
70	1,660
80	1,860
90	2,060
100	2,250
120	2,620
140	2,980

112. Tabella de' tempi di passaggio di un satellite artificiale e corrispondenti altezze del satellite stesso.

I lettori possono calcolare la tabella appropriata per qualsiasi astrolabio avente angoli diversi di apertura applicando l'equazione:

$$d_1 = 282\ t/a \sqrt{1 - 0{,}0705\ t/a}$$

In questa equazione, « d_1 » corrisponde all'altezza del satellite

in miglia, « t » corrisponde al tempo impiegato in secondi per il passaggio su di un angolo dell'ampiezza di « a » gradi. Per un astrolabio con angolo di ampiezza di 15 gradi ed un tempo di passaggio di 60 secondi, l'altitudine del satellite sarebbe stata quella di:

$(282 \times 60/15 \times \sqrt{1 - 0{,}0705 \times 60/15})$, ossia 1,128 0,8474 ossia 956 miglia, o 1720 chilometri. Gli stessi calcoli vengono applicati per qualsiasi periodo di tempo relativo al passaggio del satellite.

Sia dalla tabella, come dall'equazione di cui sopra, si suppone che il satellite venga osservato per un suo movimento angolare dell'ampiezza di 15 gradi, quando si trova allo Zenith. Se il satellite risulta ad una distanza superiore dei 15 gradi rispetto allo Zenith stesso, si moltiplica la distanza data nella tabella per il coseno dell'angolo compreso tra l'orbita e lo Zenith stesso.

L'equazione e la tabella prevedono anche l'ipotesi che l'orbita del corpo abbia una forma sostanzialmente circolare. Ma se si conoscono l'altezza massima e minima del satellite, tale tabella e l'equazione possono essere corrette per quello che riguarda l'ellitticità applicando la seconda equazione:

$$C = d_1 \left(\frac{d_e - d_1}{2\ (4000 + d_e)} \right)$$

In questa equazione « d_1 » è l'altezza ricavata dalla tabella precedente ossia dalla prima equazione, C è la distanza in miglia, da aggiungere a « d_1 » se il valore di C è positivo o da sottrarre allo stesso valore di « d_1 » se C è negativo.

La media nelle altezze massima e minima del satellite, viene rappresentata da « d_e ». Nel caso dello Sputnik I° le altezze massima e minima furono rispettivamente quelle di 570 e di 170 miglia, mentre il valore « d_e » corrisponde ad un valore di 370 miglia.

Seguendo con attenzione queste istruzioni, il dilettante può determinare l'altitudine di un satellite con un'approssimazione di solo 30 chilometri circa, rispetto ad un'altezza effettiva di ben 1600 chilometri. Il limite di errore viene determinato senza dubbio dalla precisione dei rilevamenti fatti dall'osservatore piuttosto che dagli errori insiti nel metodo stesso.

Abbiamo anche osservato il razzo vettore dello Sputnik I°, in due occasioni: la prima volta ci interessava solamente accertare se esso si trovasse effettivamente nel punto immaginato. Nella seconda osservazione l'astrolabio venne appoggiato contro un supporto conveniente rappresentato da un albero: nel periodo di tempo di 11,6 secondi il razzo passò dalla punta di uno dei due chiodi di puntamento dell'astrolabio alla punta dell'altro. Sfortunatamente, l'albero oscillava leggermente nella forte brezza mattutina: ciò introdusse senza dubbio un errore di alcuni chilometri.

L'altitudine per un tempo di passaggio di 11,6 secondi è, come rilevato dalla tavola, di 502 chilometri circa.

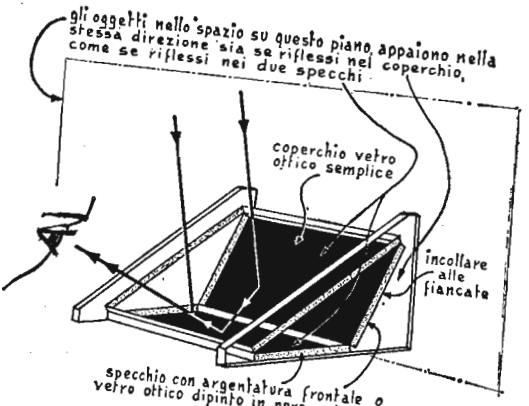
Cronometraggio dell'orbita di un satellite

È opportuno dare qualche cenno circa i metodi con cui viene misurata qualsiasi variazione del tempo impiegato da un satellite nel compiere un giro completo intorno al mondo.

Man mano che la spirale dei satelliti attorno alla terra si restringe sempre di più, essi aumentano la loro velocità; quando il tempo di orbitazione di un satellite diminuisce sino a circa 87 minuti, le condizioni di velocità e di attrito nell'aria saranno tali per cui il satellite verrà consumato a causa dell'attrito stesso contro gli strati inferiori e più densi dell'atmosfera. Pertanto, cronometrando il passaggio di un satellite su di uno stesso punto durante una serie di orbite successive, potrà essere preannunziato il tempo in cui esso rimarrà ancora in orbita prima di disintegrarsi. Se la misurazione verrà fatta con buona precisione, due rilevamenti successivi potranno essere sufficienti per un'adeguata approssimazione.

Un adatto strumento per il cronometraggio dell'orbita di un satellite è il « dipleidoscopio », apparecchio questo ideato nel 1860 da un avvocato inglese, J. M. Bloxam. Esso consiste di una coppia di specchi uniti lungo una costola, formanti un angolo solido di poco più di 90 gradi, con una lastra rettangolare di vetro applicata al disopra del sistema, secondo le indicazioni della fig. 113.

I tre elementi possono essere sostenuti da una coppia di pan-



113. Dipleidoscopio per la misurazione del tempo richiesto da un satellite per orbitare attorno alla terra.

nelli terminali di forma triangolare in legno, come lo indica la figura, oppure essere tenuti insieme solidamente con del nastro adesivo. L'ideale sarebbe che gli specchi fossero argentati nella loro superficie esterna e che anche il pannello rettangolare di copertura, in vetro, fosse argentato in maniera incompleta, in maniera cioè da riflettere solo il 38% della luce che lo colpisce, facendo passare invece tutto il resto. Ma anche i comuni specchi con argentatura posteriore o perfino del vetro comune con una verniciatura posteriore in nero, possono funzionare abbastanza bene; in quest'ultimo caso anzi, non occorre che il rettangolo di vetro di copertura sia argentato.

Quando il dipleidoscopio viene tenuto ad un angolo tale da poter riflettere la luce del satellite nell'occhio, due immagini di esso potranno essere vedute: una riflessa dal rettangolo di copertura e l'altra dai due specchi. Allorché il satellite passa sullo Zenith, le due immagini in questione si muovono incontro, si sovrappongono e quindi passano oltre dal campo della visuale in direzione opposta.

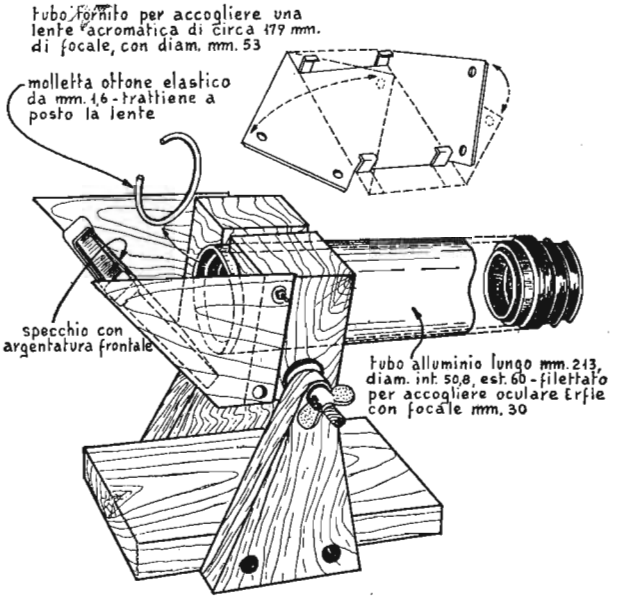
Viene registrato appunto il tempo in cui le due immagini si sovrappongono; il dispositivo dovrebbe essere predisposto prima del momento del passaggio su di un supporto stabile ma di fa-

cile regolazione, quale può essere rappresentato da un treppiede per fotografi.

L'asse del dipleidoscopio potrebbe essere regolata con approssimazione ad un angolo retto rispetto al percorso previsto del satellite; durante uno dei passaggi lo strumento viene poi regolato in modo che le due immagini si sovrappongano.

In occasione dello stesso passaggio viene annotato l'orario esatto. Lo strumento viene poi lasciato indisturbato per una seconda osservazione, durante il successivo passaggio del satellite. Nel caso dello Sputnik I°, osservazioni condotte alla distanza di 24 ore avrebbero mostrato l'approssimato anticipo apparente di tempo verificatosi dopo 15 rivoluzioni complete.

Il maggior numero degli osservatori di satelliti possono anche desiderare un buon telescopio di bassa potenza ed a grande angolo di apertura; un modello economico di tale strumento, usato dal gruppo incaricato all'operazione « Osservazione della Luna », è illustrato nella fig. 114. Esso è progettato per essere



114. Telescopio a bassa potenza ed a grande apertura di campo per l'osservazione dei satelliti artificiali.

impiegato senza supporto proprio, ed è stato completato con uno specchio ad argentatura esterna, allo scopo di evitare un torcicollo agli osservatori che altrimenti sarebbero stati costretti ad una notevole contorsione per guardare verso l'alto invece che verso il basso.

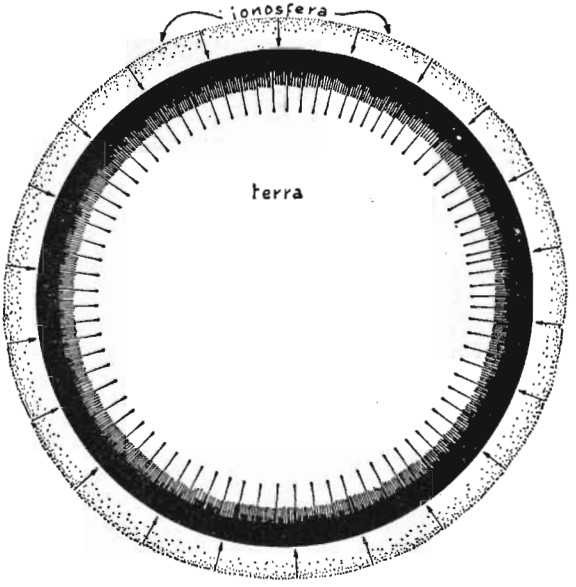
L'obbiettivo acromatico e l'oculare tipo Erfle sono stati acquistati per circa 15.000 lire presso un vecchio ottico.

6

ESPERIMENTI SULLA CARICA ELETTRICA DELLA TERRA

Normalmente l'aria si trova ad un potenziale di 200 volt positivo, rispetto alla terra su cui i nostri piedi si poggiano. Cosa accade però quando dei temporali passano sul nostro capo? Vengono qui descritti alcuni fatti relativi alla carica elettrica della terra e diversi esperimenti per rilevare e misurare quest'ultima.

Durante un giorno di sole, alcuni anni or sono, una scarica elettrica colpì Fred Ellis, radiodilettante dell'Ohio, facendolo cadere dal tetto del suo laboratorio. Fortunatamente Ellis atterrò su di un muchio di paglia e rimase in vita per poter raccontare la sua avventura. « Avevo cominciato con collegare un filo di terra ad una torre per antenna dell'altezza di 15 metri installata sul tetto », egli racconta « quando una grossa scintilla scoccò dalla torre di metallo in direzione della mia mano e mi fece



115. Principali componenti del generatore naturale di Van de Graaf rappresentato dalla terra.

perdere l'equilibrio, sebbene il tempo fosse caldo e perfettamente secco né vi era stata traccia di vento da molti giorni. Tale carica elettrica pertanto non avrebbe potuto essere generata dalla frizione del vento con le strutture; a quale origine avrebbe dovuto pertanto attribuirsi tale fenomeno? ».

A Minneapolis, una scala a pioli venne incendiata allorché una scintilla simile scoccata dalla base di un palo metallico da bandiera raggiunse un vicino mucchio di stracci intrisi di olio e benzina; anche questo incidente si verificò in un giorno perfettamente tranquillo.

Uno spettatore della televisione, in una fattoria della Pennsylvania, contrariato per molti mesi da uno strano disturbo elettrico che a volte determinava l'oscuramento completo del teleschermo, risolse finalmente la situazione quando si accorse della presenza di continue, piccole scintille che scoccavano dalla cupola, coperta in lamiera metallica, esistente sulla sua casa: il

disturbo venne eliminato collegando stabilmente a terra la cupola stessa.

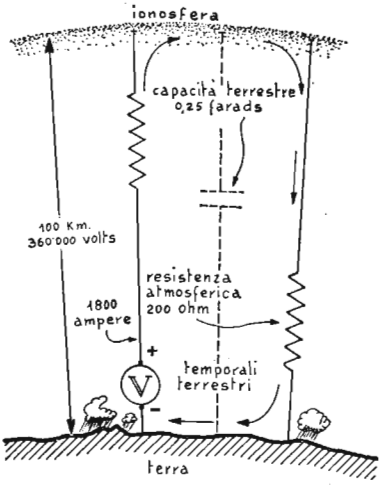
In tutti e tre questi casi la spiegazione aveva a che fare con il fatto, talvolta trascurato, che la terra è, rispetto agli altri oggetti, l'elettrodo negativo di un enorme generatore elettrostatico del tipo Van de Graaff. Molti particolari su questo generatore naturale sono ancora in attesa di una spiegazione; coloro che si dilettano in esperimenti di elettrostatica hanno qui a disposizione un progetto già pronto ed una macchina che a questo si collega.

Il generatore elettrico naturale funziona sullo stesso principio della macchina di Van de Graaff costruita dall'uomo, ma differisce notevolmente nella sua geometria e nei dettagli della costruzione. Una normale macchina Van de Graaff impiega di solito una coppia di elettrodi sferici tenuti distanziati da una colonna cilindrica isolante e caricati elettricamente dall'effetto esplicato da una cinghia di materiale isolante fatta scorrere da un motore elettrico.

La disposizione assomiglia a quelle barre aventi, a ciascuna delle estremità, una sfera metallica pesante, usate dagli atleti per alcuni dei loro esercizi. La cinghia nel suo scorrimento « pompa » elettroni da una delle due sfere e le deposita nell'altra. Via via che questo effetto di « pompaggio » continua, si viene a determinare un campo elettrico e quindi una differenza di potenziale sempre maggiore tra le due sfere, il cui voltaggio viene limitato solamente dalla curvatura dei collettori e dalle proprietà isolanti della colonna interposta tra le due sfere, della cinghia mobile e dell'atmosfera circostante.

Nell'analogo apparecchio naturale, d'altro canto, le parti del generatore prendono la forma di sfere concentriche: la terra, che rappresenta l'elettrodo negativo, risulta al centro ed è circondata da una sfera cava di materiale isolante, cioè gli strati inferiori dell'atmosfera, a sua volta circondato da una sfera cava che adempie alla funzione di elettrodo positivo, ossia gli strati superiori dell'atmosfera, resi conduttori dalle radiazioni cosmiche e da altre cause, vale a dire la ionosfera. Una sfera relativamente uniforme che si muove nello spazio occupato dallo strato isolante viene a costituire la cinghia portatrice di cariche della enorme macchina elettrostatica.

L'efficienza di una tale macchina come generatore di alte



116. Circuito equivalente del generatore elettrostatico che s'immagina inserito nello spazio tra terra, atmosfera ed ionosfera.

tensioni lascia alquanto a desiderare a causa della relativamente bassa capacità isolante dello strato inferiore dell'atmosfera la cui resistenza elettrica ammonta anzi a solo 200 ohm, eppure, le nubi in movimento ed i temporali riescono ottimamente a mantenere le due sfere concentriche cariche di elettricità di segno diverso.

Il fulmine rappresenta il corrispettivo, in questa macchina naturale, dell'effetto corona che si determina sulle punte più acute della macchina costruita dall'uomo e, nel suo manifestarsi, interessa correnti elettriche della entità di migliaia di ampère.

In media, sono circa 100 i fulmini che colpiscono la terra ogni secondo e si possono rendere evidenti collegando in qualsiasi momento della giornata una lunga antenna bene isolata direttamente all'entrata di un amplificatore di bassa frequenza, senza alcun organo intermedio di rivelazione e con il controllo del volume spinto al massimo: ne deriva, emesso dall'altoparlante, un suono acuto e crepitante.

L'energia in corso di svolgimento dei 2000-6000 temporali che in qualsiasi momento stanno manifestandosi nei vari punti della terra è sufficiente a mantenere costantemente un potenziale medio di 360.000 volt tra la terra e la ionosfera, e ciò nono-

stante che la perdita di corrente attraverso l'isolante a bassa efficienza, rappresentato dall'atmosfera, ammonti a ben 1800 ampère.

Naturalmente la intensità del campo elettrico diminuisce in funzione della altezza ma in prossimità della superficie della terra si ha un gradiente di circa 100 volt per metro di quota, da cui deriva che un uomo di statura media, si viene a trovare con la propria testa immersa in strati di aria ad un potenziale di circa 200 volt superiore a quello della terra ai suoi piedi.

Quando trascorre un tempo sufficiente, dei conduttori isolati sulla terra possibilmente se in posizione verticale, prelevano del potenziale dall'aria che li circonda; un corpo caricato negativamente attrae gli ioni positivi sino a quando la sua carica negativa originaria non sia stata neutralizzata. Viceversa un corpo caricato, in origine, positivamente, attrae gli ioni negativi ed anche in questo caso la sua carica viene ad essere neutralizzata. Il tempo impiegato da un corpo per raggiungere un equilibrio elettrico con l'aria che lo circonda dipende in gran misura dalla forma, dalle sue dimensioni e dalla concentrazione degli ioni presenti naturalmente nell'aria.

L'entità di energia elettrica che un corpo può accumulare, ossia la sua capacità a trattenere la carica, è ugualmente proporzionale alla sua dimensione. L'antenna di Ellis, forse, era talmente grande ed aveva ceduto all'aria circostante una tale carica negativa che il dilettante venne colpito dalla corrente degli elettroni che tendevano a rientrare nella struttura. Se egli invece che la grande torre che poteva accumulare una carica tanto forte avesse toccato una struttura più piccola od, anche se lunga, di piccola sezione come un filo elettrico, la carica sarebbe probabilmente stata presente lo stesso, ma a causa della bassa capacità del corpo metallico che gliela somministrava, egli probabilmente non l'avrebbe sentita.

Molti metodi per la misurazione della intensità del campo elettrico terrestre sono basati sul fatto che i conduttori possono raggiungere l'equilibrio elettrico rispetto all'aria che li circonda, e si prestano ad una interessante serie di esperienze. Nel suo concetto di principio, la tecnica della misurazione è semplice: si tratta di disporre una struttura di prova (possono ba-

stare pochi metri di filo elettrico) ad una determinata altezza al disopra del suolo, perfettamente isolato, di attendere che questa struttura abbia raggiunto il suo equilibrio elettrico rispetto all'aria circostante e quindi di connettere tra la struttura di prova e la terra, un voltmetro di adatta sensibilità. Le indicazioni fornite dallo strumento daranno un valore in volt il quale, diviso per l'altezza, in metri, a cui si trova la struttura di prova rispetto al suolo, forniscono il valore del gradiente del campo elettrico locale, in volt per metro.

L'intensità del campo varia con la posizione, le caratteristiche topografiche, l'orario del giorno e lo stato del tempo presente nella zona. Dei rilevamenti fatti sulla sommità di montagne od anche su colline a forte pendenza forniscono indicazioni assai maggiori di quelle fornite da analoghi rilevamenti in vicinanza del mare, od in una vallata. Reciprocamente, dei rilevamenti fatti nel fondo di vallate forniscono indicazioni medie alquanto inferiori. Di solito la carica elettrica della terra ha polarità negativa ma spesso, specie lungo la linea sulla quale si è spostato il temporale, essa è positiva. In occasioni come queste sono state rilevate differenze di potenziale notevoli, con gradienti che giungevano sino a 10.000 volt per metro di altezza.

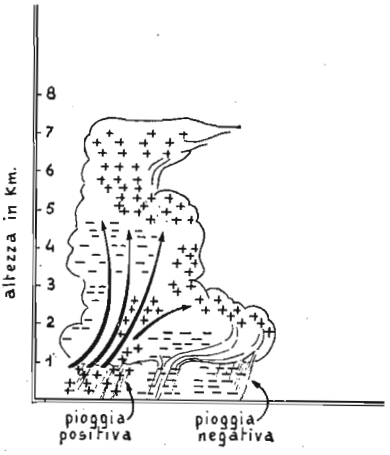
Tale intensità di campo varia anche durante le diverse ore del giorno, il che pare sia conseguenza della disuguale distribuzione della terra ferma sul globo.

Tale numero di temporali, raggiunge il suo massimo quando i continenti situati nell'emisfero occidentale, risultano rivolti verso il sole: in quest'epoca, l'Europa e l'Africa hanno già assorbito la loro porzione quotidiana del calore solare.

Questa spiegazione, come molte altre relative alla generazione ed alla distribuzione del campo elettrico terrestre, non sono state comunque confortate da molte controprove che i fisici meteorologi avrebbero desiderato.

Si risente pertanto la necessità di ulteriori informazioni sulla consistenza giornaliera dei temporali, nonché notizie più particolareggiate circa la variazione della intensità del campo elettrico.

Sebbene la misurazione della intensità di campo sia semplice nel suo principio, in pratica, tale ricerca viene resa difficoltosa dal fatto che un tempo considerevole può necessitare ad



117. Distribuzione della carica elettrica nel corso di un temporale.

un conduttore isolato, per assumere una sufficiente carica elettrica dall'aria che lo circonda sino ad essere in equilibrio elettrico rispetto ad essa. Lord Kelvin, ideò un primo metodo per rendere più spedito tale processo: egli isolò, rispetto alla terra, un serbatoio metallico, lo riempì di acqua e predispose le cose in modo che l'acqua avrebbe potuto sfuggire sotto forma di spruzzo, da un ugello situato al fondo del recipiente, dove la densità del gradiente della carica elettrica è massima, dando a questa disposizione il nome di « contagocce ad acqua ».

La superficie di ogni goccia, immediatamente prima che si distacchi dall'ugello, può considerarsi fisicamente una sporgenza della superficie del serbatoio dal quale si diparte; per questo, la differenza di potenziale tra la goccia e l'aria è uguale a quella esistente tra l'aria stessa ed il serbatoio intero. Quando ogni goccia si distacca, porta via una sua carica: il processo continua sino a quando l'equilibrio viene stabilito tra il serbatoio e l'aria.

Il conduttore di prova non consiste solamente del serbatoio; un serbatoio di dimensioni relativamente piccole può essere usato per caricare una struttura di prova di qualsiasi dimensione desiderata: dei polverizzatori da giardino che operano con l'aria compressa fornita da una piccola pompa a mano riescono a portare a carica completa un tratto di conduttore di filo della lun-

ghezza di circa 30 metri in un tempo di circa 20 secondi. La fine nebulizzazione viene preferita alle gocce di grandi dimensioni, sia per la maggiore superficie totale offerta dalle gocce più piccole, come anche per la maggiore rapidità della operazione della carica.

Il tempo di carica può anche essere abbreviato arricchendo la concentrazione degli ioni presenti in vicinanza della struttura di prova. Per esempio, un filo lungo 3 o 5 metri, con un isolatore applicato a ciascuna delle estremità, viene sospeso ad un metro circa di altezza dal suolo, collegandone le estremità a due paletti infissi nel suolo. Un corto pezzetto di filo viene quindi avvolto in un pezzo di striscia di cotone, o di carta, a sua volta previamente intrisa di una soluzione di nitrato di piombo e quindi lasciato seccare. Quando la carta od il cotone viene incendiato, la fiamma che si determina produce degli ioni nella vicinanza del filo ed in pochi secondi questo ultimo riuscirà ad assumere la carica presente nell'aria circostante. Una torcia a fiamma, agitata nelle vicinanze del filo, permetterà il conseguimento di analoghi risultati, a spesa semmai di un maggiore costo generale dell'esperienza.

In quei casi in cui sia desiderabile avere una continua segnalazione del campo elettrico entro considerevoli periodi di tempo, i materiali radioattivi possono essere messi a profitto: uno strato di polonio depositato per via elettrolitica sul filo emetterà forti quantitativi di particelle alfa che avranno come effetto quello di una forte ionizzazione dell'aria circostante.

La misurazione pratica della intensità di campo è ulteriormente complicata dalla necessità di usare degli strumenti di misura di sensibilità estrema. I conduttori di prova di adeguate dimensioni accumulano alle basse tensioni, una piccola energia, al massimo una piccola frazione di watt. Se una parte sostanziale di questa piccola energia viene consumata nell'azionamento dell'indice dello strumento di misura, la precisione dei rilevamenti ne soffre. Lord Kelvin misurava il potenziale del suo contagocce con un elettrometro a quadrante. Tale strumento consiste di una piccola aletta di metallo sospesa ad un filo sottile in una scatola metallica, che rassomiglia ad una piccola scatola per pillole tagliata in quattro settori rispetto al centro.

Tutti i settori sono isolati rispetto alla terra ed i settori che

risultano opposti al vertice sono tra di loro collegati elettricamente. Le due paia di settori sono poi caricate a polarità opposta per mezzo di una batteria e l'aletta viene invece collegata alla struttura di prova sulla quale interessa fare la misurazione con un conduttore perfettamente isolato dalla terra. Un piccolo specchio è incollato al filo al quale l'aletta è sospesa e serve da indice in quanto serve a deviare il percorso di un sottilissimo raggio di luce.

L'aletta si muove in risposta all'attrazione elettrostatica ed alla ripulsione esistente tra la sua carica e quella presente sui quattro settori. Nei migliori esemplari degli elettrometri a quadranti, il filo che sostiene l'aletta mobile è sostituito da una sottile fibra di quarzo, che è stata resa conduttrice mediante la deposizione su di essa di uno strato d'oro. Quando questa paletta viene caricata, non assorbe quasi più corrente, eppure tale apparecchio risulta estremamente sensibile alle variazioni di tensione. I dilettanti che si interessano alla costruzione degli strumenti di misura troveranno quella della realizzazione di un tale elettrometro una impresa di grande soddisfazione.

La maggior parte degli elettrometri moderni prevede, nella costruzione, dei componenti elettronici, come valvole del tipo a griglia schermo; il loro principio fondamentale è molto semplice: una tensione di polarizzazione viene applicata tra il catodo e la griglia controllo di un tale tipo di valvola, attraverso una resistenza di elevato valore. Un microamperometro viene inserito sul circuito di placca; una batteria a secco fornisce alla valvola le tensioni che le occorrono sia per la placca come anche per la griglia schermo. Il dispositivo viene tarato collegando alla griglia controllo una tensione di valore perfettamente noto annotando quindi le deflessioni compiute dall'indice del microamperometro.

Un certo numero di accorgimenti debbono essere rispettati ad evitare che il circuito di griglia della valvola assorba un quantitativo eccessivo di corrente. Una certa corrente, per esempio, viene apportata dagli ioni positivi che sono espulsi dal catodo e che colpiscono la griglia. Un'altra fonte di corrente è rappresentata dagli atomi del gas esistente nella valvola, ionizzato dagli elettroni accelerati nello spazio compreso tra la griglia e la placca.

In più, taluni di questi elettroni colpiscono la placca con una energia talmente forte da dare luogo a dei raggi X, sia pure di tipo non penetrante che, a loro volta, liberano altri elettroni dalla griglia della valvola. La luce che cade sulla griglia determina ugualmente l'emissione di elettroni da questa. Infine la carica presente sulla griglia tende a sfuggire sotto forma di perdite lungo la superficie esterna ed interna del bulbo.

Diverse tecniche sono state sviluppate per ridurre queste correnti; la produzione di ioni positivi può essere ridotta facendo funzionare il catodo ad una temperatura inferiore della normale. La griglia può in effetti essere schermata caricando la griglia schermo a 15 volt ossia ad un potenziale più elevato di quello della placca, tenuta a 6 volt: questo ha l'effetto di respingere gli ioni positivi espulsi dal catodo. La tensione ridotta di placca impedisce che gli elettroni assumano una tale energia da riuscire ad ionizzare le tracce di gas presente nella valvola e riducono anche la produzione dei raggi X.

Gli elettroni emessi per effetti fotoelettrici sono eliminati inserendo l'intero complesso in un cofano a perfetta tenuta di luce. Le perdite di corrente lungo le superfici interne ed esterne del bulbo, possono essere ridotte lavando a fondo il bulbo della valvola con alcool assoluto ed immergendo tutte le zone, in prossimità del punto da cui affiorano all'esterno i conduttori dei vari elettrodi della valvola, in un bagno di ceresina fusa.

In quei casi in cui interessa una ulteriore ed estrema sensibilità alle varie condizioni, il cofano a tenuta di luce viene anche reso stagno ed a tenuta pneumatica, in modo che da essa, possa essere aspirata anche l'aria, che specie se umida, può essere la causa di correnti di fuga.

Ove si soddisfi a queste condizioni e si faccia uso di un tubo elettrometrico di particolare progettazione, quale il modello FP-54 della General Electric, è possibile rilevare delle correnti corrispondenti al movimento di soli 60 elettroni ogni secondo. Tra le altre valvole speciali adatte per rilevamenti elettrometrici, vi sono le Victoreen 5803 e Raytheon 5886. Anche le valvole comuni, modello 954 e 959 del tipo a ghianda, come la Western Electric 259-B, possono essere usate in tutte le applicazioni di rilevamenti elettrometrici, eccezion fatta per quelli in cui interessi la massima esattezza.

Per misure della massima sensibilità, la griglia deve essere collegata al catodo attraverso una resistenza dell'ordine dei 100.000 megaohm. Componenti elettronici di questo genere specializzato sono prodotti dalla S. S. White Company, della Victoreen e dalla International Resistence Company.

Un terzo sistema per la misurazione del campo elettrico della terra elimina la necessità di strumenti di alta sensibilità, attraverso l'impiego di un dispositivo chiamato elica di campo che in effetti trasforma una carica elettrostatica, in corrente alternata. La corrente alternata prodotta dal dispositivo viene poi amplificata elettronicamente e quindi raddrizzata. L'uscita aziona quindi un amperometro a bassa sensibilità per corrente continua, un registratore o qualsiasi altro apparecchio di rilevamento.

In effetti l'elica di campo comprende un condensatore variabile azionato da un motore e che è collegato in serie con un condensatore rappresentato dalla struttura di prova, di cui interessa misurare il potenziale, la superficie della terra e l'aria interposta tra le due armature. Allorché la capacità del condensatore aumenta, una corrente si riversa in esso, proveniente dalla struttura di prova. Quando la capacità del condensatore variabile diminuisce, una corrente ritorna da questo alla struttura di prova. La frequenza dell'alternanza viene mantenuta alta in relazione al tempo impiegato dalla struttura di prova ad assumere un equilibrio elettrico rispetto all'aria circostante. Ne deriva che la struttura di prova rimane sostanzialmente al potenziale dell'ambiente e l'energia dispersa attraverso la debole corrente oscillante è insignificante. Il segnale di uscita dal dispositivo generatore è rappresentato da una tensione che si rende disponibile ai capi di una resistenza inserita tra il condensatore variabile e la struttura di prova.

Come di solito viene realizzato, il dispositivo generatore prende la forma di un condensatore con tre armature due delle quali fisse e la terza ruotante azionata dal motore. Un'armatura consiste di un cilindro cavo chiuso al fondo ed aperto all'estremità. Le altre due placche formano il coperchio del cilindro; ciascuna di esse sembra piuttosto simile ad un mulinello a due pale e consiste di una coppia di quadranti opposti, collegati al vertice.

Una placca è montata allo stesso livello dell'estremità aperta

del cilindro ma isolata da questo. Questa placca copre due quadranti del cilindro lasciando aperti gli altri due. I quadranti aperti vengono chiusi dall'altra placca che è montata direttamente al disopra di essi; quest'ultima è ancorata all'estremità di un albero che sporge attraverso il complesso e giunge al motore, fissato al fondo della custodia. Allorché l'albero ruota, le lamine della placca coprono e scoprono alternativamente le placche fisse.

Il complesso ruotante è montato su degli isolatori e messo a massa attraverso la resistenza da un megaohm ai capi della quale è presente la tensione erogata. La tensione alternata di uscita è raddrizzata da un commutatore invertitore ruotante sincrono, collegato all'estremità opposta dell'asse del motore.

Raddrizzando l'uscita in maniera sincrona, è possibile osservare la polarità, come anche l'intensità del campo elettrico. Il generatore viene calibrato col sistema del confronto, adottando come riferimento una tensione nota. Tale dispositivo è al tempo stesso robusto e trasportabile; particolari versioni di esso sono state studiate per un impiego su aerei ed hanno contribuito in maniera significante, negli anni recenti, a questa fase delle ricerche meteorologiche.

7

APPARECCHIO ELETTRONICO PER LE PREVISIONI DEL TEMPO

Douglas A. Kohl, capo tecnico di General Mills, Inc., Mineapolis, descrive la costruzione di un dispositivo atto alla stesura di precise previsioni del tempo, sia pure a brevi scadenze. Lo strumento emette continuamente informazioni di grande aiuto agli enti meteorologici responsabili per la previsione dei temporali, nonché in merito allo stato locale della carica elettrica terrestre. Il costo totale dell'apparecchio, eccettuato il registratore grafico, è di circa 60.000 lire.

I processi atmosferici che noi osserviamo sotto forma di manifestazioni meteorologiche danno origine a due effetti elettrici principali. Uno è il potenziale a 360.000 volt che viene mantenuto costantemente tra la superficie della terra e la ionosfera dal succedersi dei temporali.

Il secondo effetto ha pure la sua origine dai temporali: una porzione della energia liberata dalle scariche dei fulmini prende la forma di onde elettromagnetiche, dette disturbi radio atmosferici, quelli, per intenderci, che deliziano le ricezioni radiofoniche in modulazione di ampiezza, durante i temporali. Ogni scarica elettrica dà luogo ad almeno un disturbo radio ed è interessante sapere che circa 20 milioni di tali scariche hanno luogo ogni giorno sulla terra.

Una parte dell'energia liberata da queste scariche sfugge nello spazio esterno ma la maggior parte di questa energia viene dissipata in una serie grandissima di riflessioni tra la terra e la ionosfera, e dispersa sotto forma di calore.

Molte delle precipitazioni piovose sugli Stati Uniti e molte tempeste di vento derivano dalla attività dei temporali e dalle

formazioni di cumulonembi, caratterizzate dalla separazione della carica elettrica. Quando la sollecitazione determinata da queste cariche supera la resistenza dielettrica dell'atmosfera, ha luogo una scarica elettrica avente conseguenze assai più ampie.

La uniforme distribuzione del campo elettrico viene interrotta e, non appena la scarica culmina con il fulmine, ha luogo l'irradiazione nell'etere delle onde dei disturbi atmosferici. Sia l'alterazione nel campo elettrico, come anche i disturbi veri e propri possono essere rilevati e misurati con un apparato di relativa semplicità; per i primi, il rilevamento può essere fatto per un'area da 200 ad 800 chilometri quadrati, i secondi su di un'area di molte centinaia di chilometri quadrati. I dati ricavati forniscono informazioni significative circa le condizioni meteorologiche con un certo anticipo.

Il mio interesse iniziale circa gli aspetti elettrici delle condizioni meteorologiche si era sviluppato sino ad una vera e propria vocazione che raccomando a chiunque possieda qualcosa di più di un semplice interesse passivo verso la meteorologia.

A prima vista, un fulmine sembra estremamente semplice: una semplice grossa scintilla che, a quanto vien detto, non colpisce mai il suolo nello stesso punto. Questa prima impressione però svanisce allorché una di tali scariche viene registrata su strumenti appositi. Le scariche tra nuvola e nuvola, tra la terra e le nuvole, o tra la sommità e l'estremità inferiore di una stessa nuvola sono quasi sempre precedute da scariche meno intense ma più complesse, o pilota che precedono lo scoccare dell'arco principale.

Le scariche pilota progrediscono in una sorta di successione, seguendo dei percorsi lungo le zone più fortemente sollecitate, esistenti tra i centri di cariche opposte. Queste piccole scariche innescano in effetti la scintilla principale, in quanto tendono a ravvicinare, via via di più, i centri di carica a polarità opposta. Ne risultano campi elettrici di estrema intensità ed il finale trasferimento della scarica segue il percorso ionizzato creato poco prima dalle piccole scariche pilota.

Le scariche pilota hanno inizio di solito un millesimo di secondo prima dell'arco principale e spesso lo anticipano di ben 30 scariche. Ciascuna scarica graduale produce un segnale di disturbo elettromagnetico ed una brusca variazione nel campo

elettrico. Non tutte le scariche pilota si concludono con l'innesco di un vero fulmine, specialmente quando esse sono associate con formazioni di cumulonembi in rapido accrescimento; anche queste comunque, possono essere rilevate elettricamente.

Un'altra caratteristica del fulmine è la molteplicità della scarica principale che lo costituisce: sono infatti piuttosto rare le scariche uniche. Le scariche multiple si esauriscono di solito entro pochi milionesimi di secondo, altre volte si prolungano invece per diversi millesimi di secondo. Poche sono le scariche aventi durata intermedia.

Sebbene le osservazioni oscilloscopiche dimostrino come non esistano praticamente due scariche atmosferiche identiche, queste hanno tutte in comune il fatto che le onde elettromagnetiche da esse prodotte coprono una larga banda di frequenze. La maggior parte dell'energia di esse comunque risulta concentrata nella regione di frequenze al disotto di 20 chilocicli.

Le scariche atmosferiche sono rilevate per mezzo di un radioricevitore rudimentale; il numero di esse percepito dalla radio, durante un determinato periodo di tempo, può essere contato automaticamente attrezzando il ricevitore stesso con un registratore scrivente o con un numeratore elettromagnetico.

Nella esecuzione di annotazioni e di registrazioni dei disturbi atmosferici presenti su tre frequenze tipiche, ossia su quelle dei 430, di 2000 e dei 5100 chilocicli, ho osservato che il numero di ciascuna delle frequenze era in relazione della distanza nella quale aveva origine e dal tipo di scarica dalla quale esso era irradiato. Il rapporto del numero dei disturbi presenti sulle tre frequenze varia in modo caratteristico, allorché il temporale si avvicina o si allontana.

Durante i temporali del tardo pomeriggio ad una distanza di 150 o 300 chilometri per esempio, 100 colpi a 420 chilocicli sono accompagnati, in media, da 46 colpi a 2000 chilocicli e da 13 a 5100 chilocicli. Dal momento in cui il temporale si è introdotto nella zona locale, questo rapporto può variare dagli iniziali 100-46-13 ai 100-96-50.

Le avanzate del fronte freddo, come anche i temporali caratterizzati da una elevata percentuale di scariche dalla nuvola alla terra, presentano una variazione sensibilmente minore nel rapporto dei disturbi alle varie frequenze. Un altro rapporto per

una attività di frontale freddo a lunga distanza sarebbe quella di 100-74-40.

Di solito si è principalmente interessati al rapporto esistente tra i disturbi alle varie frequenze; è però possibile predisporre un apparecchio numeratore a coincidenza per identificare ed annotare i disturbi atmosferici che appaiono simultaneamente su due o più frequenze; tale contatore dimostrerebbe che quasi il 90% di tali disturbi atmosferici, se annotati sul canale dei 5100 chilocicli, appaiono anche sul canale a 430 chilocicli, confermando così l'origine comune dei disturbi stessi.

Registrazioni fatte in vicinanza di Minneapolis, danno quasi la stessa sensazione drammatica che viene fornita dai fulmini che le avevano prodotte. Il canale a 430 chilocicli ha fornito adeguate informazioni sino ad un raggio di 300 chilometri circa con annotazioni che indicavano un numero di scariche atmosferiche che giungevano a ben 150.000 al minuto. La corrente che scorre in un vero fulmine, che può essere registrata come un semplice disturbo radio, può superare i 20.000 ampère.

La durata della scarica è ovviamente misurata in milionesimi di secondo; ma nel caso di 150.000 scariche al minuto, la corrente media che passa tra la terra e la nuvola è dell'ordine dei 500 ampères. Altri ricercatori riferiscono la presenza di un'energia media di circa 200.000 joules, in una scarica elettrica di normali dimensioni. La corrispondente energia liberata nella zona ove vengono fatti i rilevamenti ammonta così a 30 miliardi di joules al minuto, vale a dire di 500.000 cavalli vapore.

Nei giorni senza foschia la distribuzione del campo elettrico tra la terra e la ionosfera è relativamente uniforme; violente variazioni sono però rilevate allorché un temporale passa sulla zona e viene facilmente osservato lo svilupparsi della carica, dalla quale ben presto deriva una vera scarica elettrica. Molti di questi « crescendo » si manifestano in meno di 30 secondi.

L'interazione tra i campi elettrici è tanto affascinante quanto complessa; una semplice scarica può distorcere un campo elettrico originariamente abbastanza uniforme, al punto che dopo pochi secondi può determinarsi l'innesco di un nuovo fulmine.

È possibile anche osservare molte inversioni di polarità, in cui la terra, che normalmente è negativa, assume una carica positiva. Queste variazioni, come le scariche pilota che innescano

i fulmini, seguono un percorso graduale; nella maggior parte dei casi, comunque, il campo elettrico, fortemente sollecitato, svanisce lentamente senza la comparsa di fulmini e di altri fenomeni appariscenti; da ciò deriva che l'energia del potenziale elettrico, in un temporale molto diffuso, può essere molto più grande rispetto a quella indicata dall'osservazione delle registrazioni.

Allo scopo di effettuare delle previsioni del tempo, le misurazioni dei disturbi atmosferici e l'intensità del campo non richiedono di essere combinate solo con rilevamenti fatti con un barometro locale e con un indicatore della direzione del vento. Dopo che un'adeguata esperienza sia stata acquisita nell'interpretazione di queste informazioni, previsioni del tempo, con un anticipo di 8 ore, possono essere facilmente compilate.

Durante l'estate del 1947, il nostro metodo dette una sola previsione sbagliata con un anticipo di 8 ore, rispetto alle 50 previsioni fornite. Nello stesso periodo di tempo, le previsioni compilate dal locale ufficio meteorologico risultarono indovinate in una proporzione di meno del 50%; le previsioni dell'ufficio però, risultarono confuse, a causa di una insolita distribuzione delle condizioni meteorologiche.

L'efficienza dei rilevamenti dei disturbi atmosferici e dell'intensità di campo per le previsioni del tempo sta nel fatto che l'attività delle nubi cumulonembi assicura una netta indicazione delle condizioni di aria in potenziale turbolenza, durante i mesi estivi; una serie di tali nubi appare di solito nel tardo pomeriggio: esse possono evolversi in temporali come possono dissiparsi nel sole nel corso del tramonto.

Sulla base delle sole informazioni visive è impossibile prevedere quali di queste due forme di evoluzione le nubi stesse seguiranno. Al contrario, le variazioni nella intensità nel campo elettrico, accoppiate con un moderato livello di disturbi atmosferici, segnalano quasi sempre l'avanzarsi dell'attività di un temporale sulla zona, anche se le nubi visibili non abbiano ancora assunto la ben nota compattezza che identifica il primo stadio di un temporale in corso di sviluppo.

La registrazione dei disturbi atmosferici in qualsiasi località, è naturalmente costituita dall'insieme delle attività meteorologiche presenti nella zona coperta dalla sensibilità del ricevitore. Il profilo tracciato mostra l'addensarsi, il crescere ed il mutare

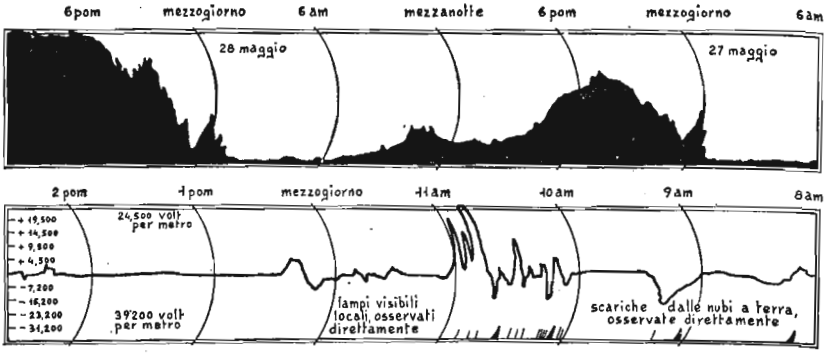
delle varie zone del temporale. Nella fig. 118 è illustrata una tipica registrazione fatta nella tarda primavera del 1956. Le condizioni del tempo, in quell'epoca, vennero registrate come un fronte molto ripido verso il Nord con elevate condizioni di temperatura e di umidità trascinate nella zona dai venti del Sud, della durata di parecchi giorni.

Il calore del sole era la causa dell'inizio dell'attività dei temporali verso il mezzogiorno e questi si dissipavano allorché l'atmosfera si raffreddava alquanto, di sera. L'indicazione massima della registrazione si riferiva ad un numero di 200.000 scariche atmosferiche ogni minuto: in effetti il numero di questa variò da 21 al minuto, verso le ore 9,30 del 27 maggio, a più di 200.000 al minuto verso le ore 18 del giorno 28 maggio. Questo aumento di ben 10.000 volte del numero di scariche apparve collegato intimamente ai disturbi del tempo meteorologico.

In questo come anche in molti altri periodi di attività, uno o due ammassamenti relativamente intensi prendono vita prima del verificarsi delle variazioni del tempo nella zona: tali condizioni sono notate verso il mezzogiorno in entrambi i giorni. All'apparenza, nella complessa interdipendenza con le regioni vicine alle principali zone di delimitazione del tempo, quali aree di basse pressioni, corridoi di alte pressioni, fronti di avanzamento e così via, il verificarsi di uno o di due temporali, determinerà una attività temporalesca generale nella regione oppure le formazioni di cumulonembi si dissiperanno rapidamente.

L'attività piuttosto sostenuta nella prima serata del 28 di maggio, come la registrazione dimostra, continuò quando il fronte freddo attraversò la zona interessata. La corrente di aria del Sud bloccò all'apparenza, una seconda volta, il movimento del fronte; l'abbassamento della temperatura ed i venti del Nord non assunsero consistenza sino al 31 di maggio dopo che, nella nottata del 29 maggio, vennero osservati dei temporali locali. L'attività dei disturbi atmosferici, delle zone Ovest e Nord continuò durante questo intero periodo.

Per le previsioni che erano basate su questa registrazione si sarebbe notato che i temporali non erano visibili alla distanza sino alle 17 del 28 maggio. Nonostante i forti venti meridionali, la diminuzione verificatasi nei disturbi atmosferici nella prima serata condusse alla corretta previsione che nessuna variazione



118. *In alto,* registrazioni di scariche atmosferiche. *In basso,* variazioni del livello medio dell'intensità di campo elettrico terrestre.

del tempo sarebbe occorsa nelle immediate vicinanze durante la nottata e nella mattinata successiva.

Un vento più forte da Sud Est, che apparve nel medio pomeriggio, collegato ad un rapido aumento dell'attività dei disturbi atmosferici, portò alla previsione che delle indicazioni più variate del tempo si sarebbero presentate sulla zona durante la mattina successiva, non disgiunte da zone più disturbate al disotto della zona di passaggio delle nubi e questo ebbe come conseguenza una ulteriore previsione che il tempo meteorologico non era ancora migliorato e che altri temporali erano anzi imminenti: tali fenomeni si verificarono appunto confermando la previsione.

Nel caso di sistemi di temporali in rapido movimento, l'anticipo nelle previsioni, fornite dall'apparecchio registratore dei disturbi atmosferici, può essere di poche ore solamente e non è difficoltosa la stesura di attendibili previsioni entro una scadenza di 8 ore. Allorché il dilettante o l'osservatore ha assunto una sufficiente capacità nell'interpretazione delle registrazioni, egli potrà anche tracciare delle previsioni sotto condizioni più passive.

Le osservazioni dell'andamento del campo elettrico divengono allora particolarmente utili; a volte appaiono delle impressionanti formazioni di nubi tra le quali possono figurare degli enormi ammassi collegati con i temporali in corso di evoluzione

ed applicando le normali statistiche, questi fenomeni annuncierebbero uno stato del tempo mediocre. Ma quando la registrazione eseguita dimostra che queste formazioni sono prive di carica elettrica, l'osservatore può subito concludere che non si tratta di manifestazioni molto violente.

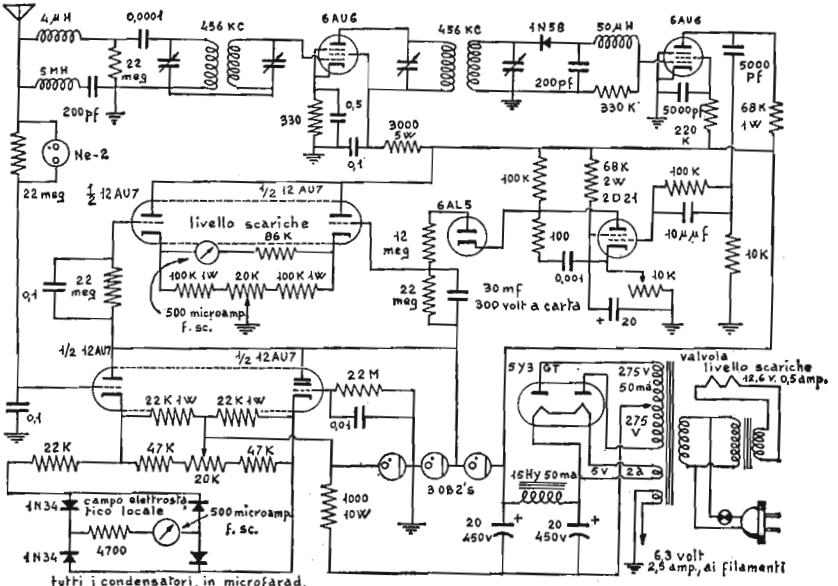
I forti temporali localizzati, d'altro canto, sono accompagnati da violente variazioni del campo elettrico, anche se il livello generale dei disturbi atmosferici risulta basso, fenomeno questo che annunzia che il temporale interessa solamente una zona limitata.

Con l'eccezione di un registratore a penna scrivente, l'attrezzatura per la misurazione della intensità di un campo elettrico terrestre, e per il conteggio del numero delle scariche atmosferiche è relativamente poco costosa. Il rivelatore di scariche elettriche è essenzialmente uno speciale radioricevitore munito di un dispositivo atto a conteggiare dei brevi impulsi di corrente, fig. 119. L'antenna consiste di un semplice filo di rame scoperto, della lunghezza di almeno 6 metri sospeso, tra isolatori di vetro, ad un'altezza di 3 o più metri dal suolo: essa serve al doppio scopo di rilevare i disturbi atmosferici e l'intensità del campo elettrico.

Un segnale derivante da un disturbo atmosferico eccita il trasformatore accordato a 456 chilocicli e le oscillazioni che ne risultano vengono amplificate. Il treno delle oscillazioni amplificate viene quindi raddrizzato ed impiegato per fare entrare in funzione un circuito generatore di impulsi.

L'uscita, nel suo valore medio, viene inviata ad un circuito di voltmetro a valvola. L'antenna dovrebbe essere munita di uno scaricatore di fulmini; come ulteriore protezione, il ricevitore andrebbe poi munito di una bobina di arresto ad elevata induttanza, progettata per bloccare i picchi dannosi di energia alle alte frequenze.

L'amplificatore a radiofrequenza consiste di due trasformatori standard per media frequenza, atti a funzionare ad una frequenza di 456 chilocicli, nonché di una valvola pentodo ad elevato coefficiente di amplificazione. I segnali in arrivo sono rettificati da un diodo a cristallo che eroga, alla sua uscita, degli impulsi a polarità negativa. Gli impulsi negativi tendono a portare la griglia della valvola 6AU6 al potenziale di inter-



119. Schema elettrico del contatore di scariche elettrostatiche e misuratore dell'intensità di campo.

dizione, punto questo al quale nessuna corrente circola tra il catodo e la placca della valvola stessa.

L'uscita di questa valvola viene inviata al thyratron 2D21 attraverso un circuito a resistenza-capacità progettato perché risponda ad impulsi della durata di 50 microsecondi. Per la maggior parte, le scariche elettriche, anche se multiple, sono pertanto registrate come se si trattasse di un unico colpo; gli impulsi corrispondenti generati dal tubo thyratron hanno una durata di 10 microsecondi. La sensibilità del circuito ai disturbi atmosferici viene controllata variando la tensione di polarizzazione del thyratron; di solito, questo controllo, viene predisposto in modo da registrare non più di un impulso ogni ora durante l'inverno o durante i periodi di tempo cattivo in estate.

L'uscita del thyratron è accoppiata ad un circuito a resistenza-capacità « mediatore ». Esso ha la funzione di livellare

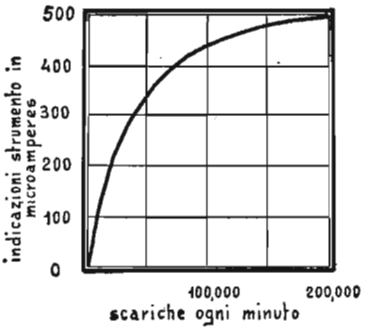
le fluttuazioni irregolari che si presentano nel regime di conteggio dei disturbi e dà così significato ai valori registrati di 50 colpi al minuto e meno.

Come è stato citato in precedenza, il regime al quale i disturbi atmosferici sono rilevati può spaziare su di una gamma molto larga: da meno di 20 a più di 200.000 al minuto. Ne deriva che la scala graduata dello strumento registratore deve essere contratta, con l'aumentto del regime delle scariche, allo scopo di prevenire l'uscita della penna scrivente dalla carta sulla quale sta facendo la registrazione. Questa condizione viene raggiunta traendo vantaggio dalle caratteristiche di interdizione di griglia presentata dalla valvola 12AU7, impiegata nel voltmetro elettronico.

Allorché il regime del conteggio aumenta, una tensione negativa progressivamente più elevata viene via via applicata alla griglia della 12AU7, riducendo pertanto la risposta dello strumento.

La corrente di fuga dell'antenna che varia con l'intensità del campo elettrico, viene misurata con un altro voltmetro « mediatore » che impiega una seconda valvola tipo 12AU7. Una griglia di essa è collegata a un circuito a resistenza-capacità destinato a fornire un valore medio, collegato a sua volta all'antenna. Un certo valore di capacità ed uno di resistenza vengono inseriti, allo scopo di contrastare gli effetti determinanti dalle brusche variazioni nel campo elettrico che accompagnano i fulmini.

L'antenna è così efficiente che le variazioni modulate del-



120. Curva di taratura per un apparecchio contatore di scariche atmosferiche.

l'intensità di campo possono indurre nel circuito differenze di potenziale sino a 10.000 volt.

Per proteggere lo strumento, una resistenza da 22 megaohm ed un condensatore da 0,1 millifarad sono collegati in serie fra l'antenna e la terra, mentre la griglia della valvola del volmetro è collegata al punto dove detti due organi sono collegati tra di loro. Il condensatore impiega un sensibile intervallo di tempo per assumere la sua carica massima, attraverso la resistenza. tale ritardo protegge lo strumento contro i bruschi picchi di tensione. La sensibilità alle locali condizioni del tempo viene pero perduta dal circuito, se le variazioni modulate sono eliminate completamente. A tale scopo pertanto, un piccolo bulbo al neon del tipo da cercafase viene collegato in parallelo con i capi della resistenza. Allorché la tensione di entrata supera il voltaggio di innesco del bulbo al neon (da 70 a 100 volt), la luminescenza del bulbo stesso ha un effetto di cortocircuito per la resistenza ed in effetti trasferisce la connessione di antenna direttamente al condensatore ed alla griglia.

La impedenza da 5 millihenries ed il condensatore da 200 microfarad collegati tra l'antenna e la terra presentano una bassa resistenza a dei campi elettrici lentamente variabili, come sono quelli prodotti dalle vicine linee elettriche ad alta tensione ed impediscono così, a tali fonti di segnale, di innescare il tubo a neon.

8

RILEVAMENTO DELLA ROTAZIONE DELLA TERRA

Un secolo addietro il fisico francese Léon Foucault costruì un pendolo per la dimostrazione della rotazione della terra e riuscì pertanto a far cadere una controversia classica. Vengono fornite, qui appresso, le istruzioni per riprodurre l'esperienza di Foucault e i risultati da lui ottenuti.

Un giorno, verso la metà dello scorso secolo, il fisico francese Léon Foucault inserì una sottile barra nel mandrino di un tornio e pizzicò l'estremità libera della sbarra stessa, così da metterla in vibrazione come una lamina armonica. Quando poi egli mise in rotazione il tornio, osservò che la barra rotante continuava a vibrare sempre sullo stesso piano. Più tardi, egli provò lo stesso esperimento anche con un trapano verticale a colonna: dal mandrino del trapano, egli sospese un corto pendolo, consistente di un pezzo di filo avente collegato all'estremità inferiore un pesetto sferico.

Egli mise tale peso in oscillazione e quindi mise in funzione il trapano. Anche questa volta il pendolo continuava a vibrare sullo stesso piano; per un certo tempo niente di più derivò da queste osservazioni ma in esse vi era già il seme di un esperimento destinato ad appianare una classica controversia scientifica.

Nell'anno 1543, Nicola Copernico aveva inviato una copia del suo nuovo libro, *Delle rivoluzioni dei mondi celesti*, al papa Paolo III, con una nota contenente un'affermazione storica: « posso facilmente comprendere Santissimo Padre », scriveva, « che non appena il popolo apprenderà che in questo libro io attribuisco certi movimenti alla terra, griderà subito che io

stesso e la mia teoria siamo da rinnegare ». Gridò effettivamente il popolo e qualcuno, tra cui alcuni scienziati, continuava ancora a gridare nel 1850 quando Foucault venne invitato ad una mostra scientifica che rientrava nei programmi dell'esposizione Universale di Parigi in allestimento per l'anno successivo.

Essendo egli, non solo uno scienziato dotato, ma anche un ottimo sceneggiatore scelse, come luogo per la sua esibizione, la Chiesa di Santa Genoveffa, nota anche come il Panthéon.

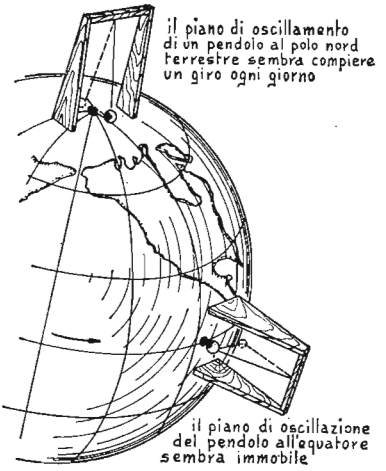
Dalla cupola del Panthéon, egli appese un pendolo consistente di 60 metri di filo di acciaio armonico con all'estremità inferiore una palla di cannone del peso di 28 chilogrammi. Sul pavimento immediatamente al disotto della palla di cannone egli cosparse uno strato di sabbia sottile. Una punta, fissata al fondo della palla lasciava nella sabbia una traccia descrivendo così una sorta di registrazione del movimento del pendolo. Venne presa molta cura, durante la costruzione, per eliminare tutte le altre forze all'infuori di quelle che agivano verticalmente per sostenere il sistema; vennero anche fatte delle prove per accertare la simmetria della struttura metallica del filo.

Infine la palla venne tirata da una parte e legata in questa posizione ad un robusto filo. Allorché il sistema apparve veramente inerte, tale filo che tratteneva la palla in posizione inclinata, venne bruciato.

Il pendolo fece una vera oscillazione lasciando una traccia diritta sulla sabbia. In pochi minuti la linea tracciata, da sottile che era, si dilatò sino a formare un contorno simile a quello di un'elica a due pale. Detto contorno si sviluppava nella direzione di rotazione delle lancette di un orologio ed al termine di un'ora, la linea aveva compiuto uno spostamento di 11 gradi e 18 minuti. Ciò poteva spiegarsi soltanto sulla base del fatto che la terra aveva ruotato al disotto del pendolo: Copernico e la sua teoria risultavano così vendicati.

Ad una persona che stia osservando sulla terra, il piano della vibrazione o della oscillazione sembra ruotare in direzione oraria, mentre al polo Nord la terra ruota invece in senso antiorario. Lo stesso effetto che si sarebbe potuto osservare al polo Sud eccezion fatta per le rotazioni che sarebbero risultate in direzione opposta.

Se l'oscillazione del pendolo sembra ruotare in senso orario



121. Pendoli di Foucault sospesi al Polo Nord ed all'Equatore.

al polo Nord ed in senso antiorario al polo Sud, cosa accade all'Equatore? In pratica non viene osservata alcuna rotazione: qui, l'intero sistema, ossia la terra, la struttura di sostegno ed il pendolo risultano trasportati quasi in linea retta da Ovest verso Est, fig. 121.

Ai poli, il regime al quale l'oscillazione del pendolo sembra ruotare è di 15 gradi ogni ora siderale; all'Equatore è naturalmente di 0 gradi per ora siderale. Il regime di rotazione varia con la latitudine: più elevata è la latitudine, maggiore è tale regime. Ciò comunque viene considerato trascurando delle piccole deviazioni causate dalla curvatura dell'orbita terrestre attorno al sole e da altre perturbazioni; rimane comunque costante la rotazione principale, più evidente.

Con l'aiuto di pochi semplici concetti geometrici, è facile vedere perché un pendolo sembra ruotare più lentamente via via che esso viene avvicinato all'Equatore. Si immagini un arco lungo un parallelo medio di latitudine, rispetto al quale la terra ha ruotato durante un breve periodo, ad esempio un'ora circa (AB, in fig. 122). L'angolo sotteso dall'arco, rispetto all'asse della terra, aumenta a regime di 15 gradi l'ora, corrispondente ad un'intera rotazione di 360 gradi per giorno siderale.

Si immagini ora un paio di tangenti (AC ed AB) alla superficie della terra, sottese dall'arco che s'incontra su di una proiezione dell'asse ad un punto nello spazio al disopra del polo.

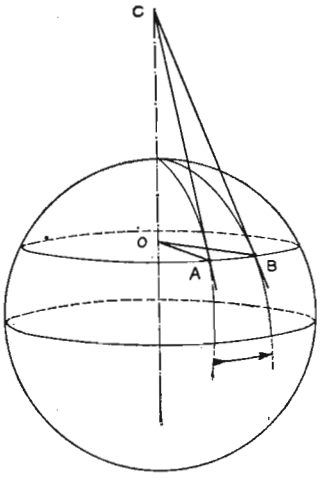
L'angolo tra le tangenti aumenta in ampiezza allo stesso regime con cui il piano di oscillazione del pendolo appare ruotare. La ragione per cui le cose vanno in questo modo diviene chiara se si ammette che il pendolo continua ad oscillare sul piano della prima tangente, quando viene trasportato nella posizione della seconda.

Ai poli i due angoli sono uguali: entrambi aumentando al regime di 15 gradi ogni ora; all'Equatore, l'angolo sotteso dall'arco all'asse terrestre, continua ad aumentare al regime di 15 gradi ogni ora. Ma la coppia delle tangenti, sottese dall'arco all'Equatore incontrano, all'infinito, il prolungamento dell'asse terrestre. L'angolo si annulla e lo stesso succede per il suo regime di aumento. Pertanto, il regime della rotazione del pendolo è uguale a zero. Foucault dimostrava che la rotazione apparente del pendolo varia con il seno trigonometrico della latitudine al quale esso risulta installato. Il suo regime ai punti tra i poli e l'Equatore è uguale a 15 gradi ogni ora per il seno dell'angolo corrispondente alla latitudine alla quale si trova il punto di osservazione.

I dilettanti che dispongono dei pendoli a New Orleans osserveranno una rotazione di 7 gradi e 30 minuti ogni ora, in questa località si dovranno pertanto attendere due intere giornate prima che sia compiuta un'intera rotazione. Quanti risiedano a Manila, dovrebbero attendere quattro giorni, mentre coloro che si trovano nell'isola Howland nel Pacifico Meridionale, dovranno attendere ben 40 giorni.

Il migliore sistema per acquistare una cognizione del comportamento del pendolo di Foucault è proprio quello della costruzione di un esemplare di questo strumento.

Come molte altre imprese, anche questa sembra semplice sino a quando non viene tentata direttamente. Molti dilettanti, che avevano sentito il desiderio di mettere insieme un tale apparato, hanno abbandonato l'idea forse perché non avevano a disposizione il Pantheon alla cui cupola appendere un filo di 60 metri ed una palla di cannone da usare come pesetto, da fissarvela. Questo non è un vero problema. Dei pendoli della



122. Geometria dell'oscillazione nel caso del pendolo di Foucault.

lunghezza di 3-5 metri, possono essere realizzati agevolmente con pesi di 2 o 2,5 chilogrammi solamente.

Il problema più grave durante la costruzione di un pendolo s'incontra semmai non nelle dimensioni, ma piuttosto nell'avviare il pendolo in modo che possa oscillare con una oscillazione perfetta, mantenendo l'esattezza di tale movimento.

Il metodo di Foucault per l'avviamento del pendolo è ancora il più elegante ed efficiente, sono comunque stati provati diversi dispositivi per tale avviamento: meccanismi di sganciamento, meccanismi che accelerano il pesetto dalla sua immobilità, e così via. Comunque viene generalmente convenuto che l'accensione del filo secondo la soluzione ideata dal Foucault è certamente oltre che la più elegante anche la più semplice e la migliore.

Sino agli anni recenti, il problema di imporre al pendolo una adeguata oscillazione corretta risultò il più difficile ai migliori costruttori di strumenti: sembrava chiaro che qualsiasi metodo di sospensione avrebbe dovuto avere una simmetria radiale simile a quella che si sarebbe potuta attendere dalla sospensione illustrata nella fig. 123.

Per assicurare questa condizione, Foucault ed i successivi

sperimentatori e ricercatori si dettero grande cura nella ricerca di un filo metallico di caratteristiche identiche per tutta la sua lunghezza e nella progettazione dell'elemento al quale l'estremità superiore del filo stesso avrebbe dovuto essere appesa.

Roger Hayward, al quale appartengono molte delle illustrazioni inserite nel presente volume, mi dice che il filo del pendolo di Foucault dell'osservatorio Griffith di Los Angeles era stato progettato in particolare modo ed ancorato ad un lungo correntino di legno da 50×100 millimetri per la spedizione dallo stabilimento, situato nell'Est, sino alla costa occidentale.

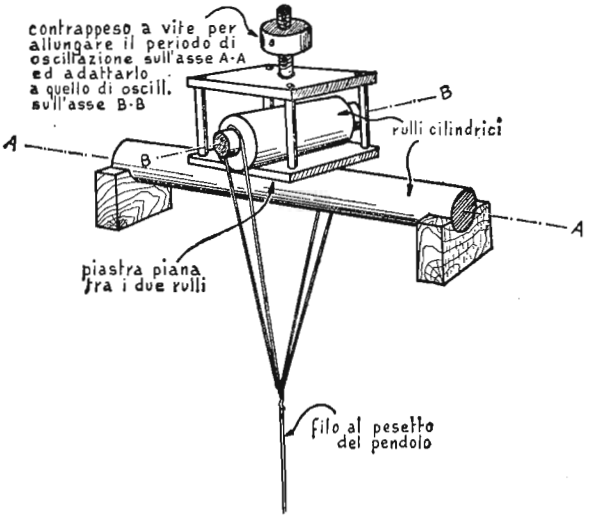
I progettisti erano infatti preoccupati per il fatto che l'avvolgimento del filo attorno a qualche rocchetto avrebbe potuto distruggere la sua simmetria. Il perno al quale il filo era collegato consisteva dapprima di una coppia di occhielli con due serie di supporti a taglio, ad angolo retto uno con l'altro.

Nonostante queste precauzioni, il pendolo continuava a tracciare nelle sue oscillazioni, non una linea unita, ma piuttosto delle ellissi e delle figure simili ad un 8 allungato. Hayward, che aveva progettato altri pezzi di dimostrazione per l'osservatorio, suggerì di trattenere il filo in un mandrino rigido.

Questo suggeriva la possibilità di una rottura della giunzione tra il filo ed il mandrino, con il pericolo che il pendolo volasse via in mezzo agli spettatori. Per ridurre al minimo questo pericolo, un elemento trasversale venne fissato al filo appena al disopra del magnete di pilotaggio conformato ad anello. Così, se il filo fosse stato rotto la barra trasversale sarebbe stata trattenuta dall'anello del magnete.

Serrando il filo in un mandrino, si riusciva a correggere la difficoltà: da allora, il filo ha continuato ad oscillare ed a flettersi per più di venti anni, ormai, senza alcun segno apparente di complicazioni.

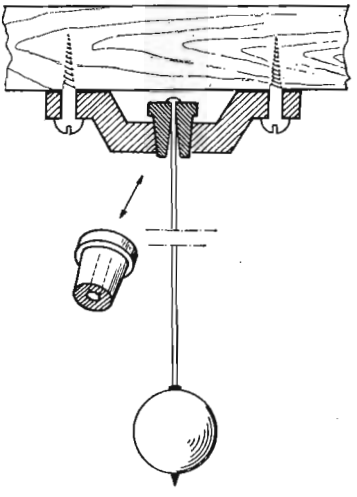
All'epoca nel quale il pendolo di Griffith veniva installato, un fisico francese, chiamato M. F. Charron, studiò per assicurare la corretta oscillazione al pendolo, anche se le forze che operavano sul pendolo apparivano in misura sensibile, asimmetriche. Charron si era messo al lavoro con l'obbiettivo di disegnare un morsetto che avesse trattenuto rigidamente il filo e che avesse consentito anche un ampio raggio di oscillazione del filo.



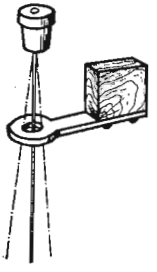
123. Sospensione di Foucault basata sul principio dei piani e dei cilindri incrociati.

Egli usava un tubetto con la sua estremità superiore adattata con precisione attorno al filo e con l'estremità inferiore svasata invece per distanziarla dal filo, come è visibile nella fig. 124.

Il diametro del foro all'estremità inferiore è precisamente adattato all'oscillazione del pendolo; era stato osservato che quando il pendolo compiva un'oscillazione corretta, il filo, al termine di ogni corsa in una direzione e nell'altra, entrava appena in contatto con la superficie interna dell'estremità inferiore del tubetto. Se il pendolo d'altro canto descrive una sorta di ellisse e se vi è un sufficiente attrito tra il tubetto ed il filo del pendolo, allora il bordo inferiore del tubetto opera, per un breve intervallo di tempo nel corso della oscillazione, come il vero punto di sospensione del pendolo ed il pesetto descrive durante questa porzione della oscillazione una ellisse alquanto più stretta. Lo stesso effetto si ottiene durante la porzione equivalente della oscillazione di ritorno. L'effetto accumulante tende a contrarre l'ellisse senza limite, determinando l'avvicinamento di questa ad una vera e propria linea retta.



124. Perno ideato da Charron per un pendolo di Foucault.



125. Versione dilettantistica del perno di Charron per pendolo di Foucault.

Stephen Stoot, un dilettante canadese, suggerì una modifica al sistema di sospensioni per piccoli pendoli ideato da Charron che permette di conseguire gli stessi risultati; egli fissa una rondella, centrata con cura rispetto al filo, in posizione appena al disotto del punto di sospensione di esso, in maniera che il filo stesso tocchi appena la rondella al termine della corsa in una direzione e nell'altra di ogni oscillazione, come è illustrato nella fig. 125.

Il terzo problema fondamentale è quello di come impartire al pendolo una spinta periodica, nella corretta direzione nella quale il pendolo deve muoversi. Non è stata comunque realizzata alcuna soluzione meccanica a tale problema: sono comunque in uso vari dispositivi di azionamento elettrico.

La maggior parte di questi comporta un elettromagnete all'anello che agisce su di un'armatura portata dal filo in prossimità del punto di sospensione. L'alimentazione viene effettuata all'elettromagnete, durante la porzione di oscillazione nella quale il filo si sta avvicinando al magnete e viene interrotta invece allorché il filo si allontana.

La disposizione utilizzata all'Osservatorio Griffith è tipica: la corrente viene fornita attraverso un relais all'avvolgimento del magnete ad anello. L'azione del relais, a sua volta, è controllata da una cellula fotoelettrica, v. fig. 126: allorché la sospensione passa attraverso il centro del magnete ad anello, una sorta di schermo fissato sul filo interrompe un raggio di luce; tale raggio di luce, deviato a mezzo di specchi, in modo che il suo fascio si intersechi ad angolo retto in prossimità del filo, aziona la cellula fotoelettrica.

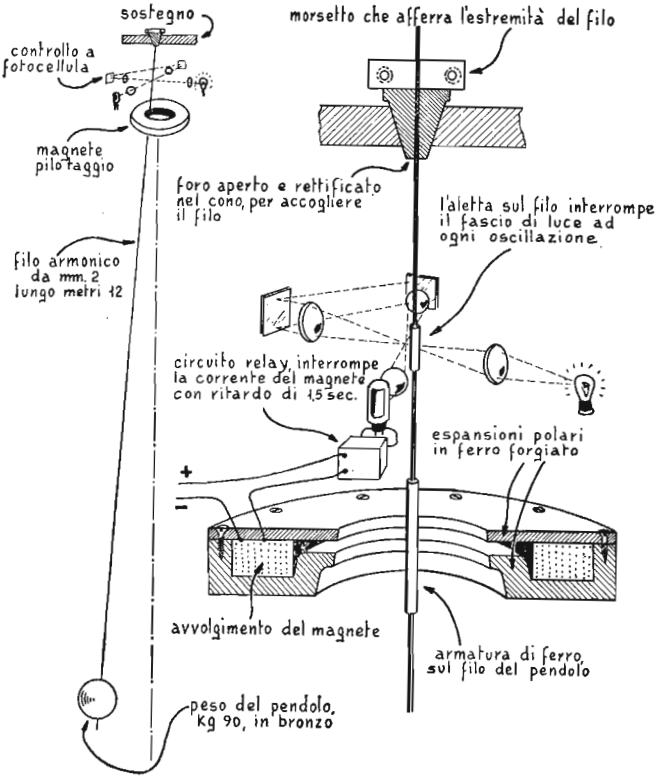
Il relais allora viene eccitato ed invia la corrente al magnete; dopo un adatto intervallo di tempo, durante il quale il filo continua ad avvicinarsi al magnete, un altro relais, questa volta a ritardo, interrompe automaticamente il circuito.

Nel 1953 R. Stuart Mackay, dell'Università della California, descrisse, sul *The American Journal of Physics*, un nuovo sistema per mettere e mantenere in funzione i pendoli del tipo Foucault. Il suo dispositivo consiste di una semplice bobina shuntata da un condensatore nella quale la corrente di alimentazione viene fornita continuamente e su cui oscilla liberamente il pesetto del pendolo. Il metodo trae vantaggio dagli effetti di variazione di fase che sono essenziali al funzionamento dei normali campanelli elettrici e dei cicalini; il sistema non richiede contatti elettrici, raggi di luce od altri elementi od altre disposizioni atte ad interrompere la corrente.

R. Stuart Mackay, dell'Università della California, descrive il metodo da lui escogitato per mantenere in oscillazione i pendoli Foucault.

Se si alimenta una bobina con corrente alternata e si dispone il pesetto di un pendolo oscillante immediatamente al disopra di questa, la corrente attraverso la bobina aumenterà o diminuirà, in dipendenza del fatto se il pesetto sia in movimento di avvicinamento o di allontanamento rispetto alla bobina stessa: la proprietà magnetica del ferro del pesetto infatti influenza il campo magnetico creato dalla bobina e pertanto la induttanza della bobina stessa.

L'induttanza, a sua volta, influenza il flusso della corrente: le fluttuazioni dell'ampiezza del campo magnetico alternativo non intervengono però immediatamente: il fatto è che la corrente, e conseguentemente la forza di attrazione del campo ma-



126. Pilotaggio convenzionale elettronico per un pendolo di Foucault, nella sua versione installata all'Osservatorio Griffith a Los Angeles, California.

gnetico della bobina, è maggiore quando il pesetto si avvicina al centro, rispetto a quando se ne sta allontanando. Se il circuito è essenzialmente con caratteristiche induttive, un sufficiente quantitativo di energia verrà trasmesso al pesetto del pendolo, per mantenerlo in continua oscillazione.

Il fenomeno può essere reso più intenso applicando in serie con la bobina un condensatore, in modo che il sistema risuoni ad una frequenza appena al disotto dei 60 periodi al secondo (frequenza, questa, corrispondente a quella di rete degli impianti di alimentazione elettrica, negli Stati Uniti; nel caso di installa-

zioni in Italia dovrà essere adottata, come frequenza, quella dei 50 periodi). In effetti, il sistema è allora operante su di un lato della curva di risonanza dove una determinata variazione di induttanza causa una sensibile variazione di corrente.

Taluni pendoli di Foucault, ed in particolare quelli realizzati per esposizioni al pubblico, presentano pesi di leghe di ottone e bronzo od altri materiali non magnetici. Anche questi possono essere mossi dalla bobina: si può trarre infatti vantaggio dal fatto che tali pesetti possono comportarsi come l'avvolgimento secondario di un trasformatore. Il campo magnetico della bobina fissa e quello creato dalla corrente indotta nel pesetto, sono in opposizione: ne deriva che la bobina ed il pesetto si respingono a vicenda. Allorché il peso si avvicina alla bobina il flusso della corrente aumenta in entrambi.

Ma a causa del ritardo elettrico nei circuiti, la corrente, che inizia ad aumentare con l'avvicinarsi del pesetto, non raggiunge il suo valore massimo di picco, sino a quando il peso non abbia progredito alquanto al di là del centro della bobina. Di conseguenza, il peso è sottoposto ad una più netta forza di ripulsione allorché si sta muovendo allontanandosi dalla bobina piuttosto che quando le si sta avvicinando. L'energia viene così resa disponibile per azionare il pendolo.

Le forze che agiscono fra la bobina e il peso non magnetico sono più piccole di quelle esistenti tra la stessa bobina ed un peso magnetico; in più l'energia dissipata dalle correnti indotte del pesetto, determina anche un maggiore smorzamento delle oscillazioni del sistema.

L'effetto può essere visualizzato facilmente sostituendo, al peso, una bobina di grosso filo avvolto: la variazione di corrente in entrambe le bobine, indotta da variazioni dell'induttanza, può essere accentuata mettendo ciascun circuito in condizione di risuonare ad una frequenza prossima a quella di rete, come nel caso descritto per i pesetti magnetici.

Allorché il condensatore della bobina che ha sostituito il pesetto, viene adottato di valore appena eccessivo per il conseguimento della risonanza, il circuito diviene leggermente induttivo. La forza tra le bobine è allora di carattere ripulsivo, e da ciò derivano delle oscillazioni abbastanza ben mantenute. Quando invece il condensatore è troppo piccolo, viene a prodursi una

forza di attrazione tale da non mantenere l'oscillazione. Uno schema elettrico delle due bobine appare nella fig. 127; è possibile, naturalmente, collegare una bobina elettrica accordata per l'effetto della ripulsione, al fondo del pesetto non magnetico.

La prima bobina da me provata era avvolta con filo di rame da 1,5 millimetri; essa aveva un diametro di 200 millimetri, dello spessore di 50 millimetri ed aveva, al centro della sua lunghezza, un foro da 50 millimetri. Era usato questo dispositivo semplicemente per il fatto che aveva avuto l'occasione di risultare disponibile.

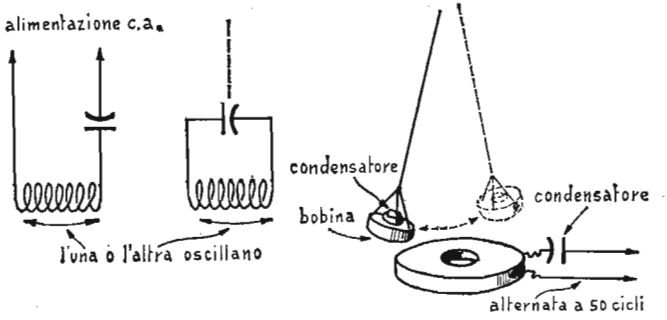
La bobina oscillava a 60 periodi, in corrispondenza alla sua risonanza, allorché veniva piazzato in serie con essa un condensatore a carta da 25 microfarad; sotto la sollecitazione di 10 volt esso riusciva ad azionare, alla prima prova, un pesetto di ferro del diametro di 70-80 millimetri. Un quantitativo sensibilmente maggiore di energia veniva liberato dalla bobina fissa, allorché il campo magnetico veniva alterato dalla sistemazione della bobina in questione su di un disco di 15 centimetri di diametro, dello spessore di 1,5 millimetri.

Ove si sarebbe desiderato accentuare ulteriormente l'effetto, la bobina avrebbe dovuto essere inserita in un nucleo cilindrico di ferro, come è illustrato nella fig. 128.

Quale dei due sistemi di propulsione è preferibile: quello magnetico o quello non magnetico? Una analisi delle prestazioni, indica che non vi sono molti elementi in favore della scelta verso una delle due soluzioni, sebbene il pesetto magnetico è probabilmente il più semplice da realizzare. È vero che al disopra di un certo numero di cicli, qualsiasi piccola forza di perturbazione può determinare un effetto sensibile nell'oscillazione di un pendolo di Foucault, dando di solito origine alla comune oscillazione, risolventesi in un'orbita leggermente ellittica.

Il « piano » di oscillazione di un pendolo che stia oscillando su di un percorso ellittico presenterà una sorta di precessione nella direzione del tracciamento dell'ellisse ad un regime approssimativamente proporzionale alla sua area.

Pertanto, se il dilettante non si dà cura di questo, il pendolo di Foucault può sembrare oscillare ad un regime errato, od anche indicare che la terra stia ruotando in senso contrario. È anche invitante supporre che il pesetto non magnetico tenderà ad



127. Una versione del pilotaggio elettrico di Mackay per un pendolo di Foucault.

evitare la « montagna di potenziale magnetico » che esso « vede » e la forza di repulsione tenderà a deviare il peso da un lato, se l'oscillazione non passa direttamente nel centro del campo di forza magnetica. Al contrario, un peso magnetico potrà apparire come simpatizzare con il centro della « vallata di potenziale » che esso « vede », anche se la sua normale oscillazione non taglia necessariamente al centro il campo di forza. Pertanto in entrambi i casi occorre attendersi qualche perturbazione indotta.

In pratica, nessuno dei casi ha molto effetto sull'ampiezza trasversale, se viene usato un pendolo con un peso piuttosto grosso. È anche abbastanza interessante, dal momento che i movimenti nelle due direzioni da cui deriva il movimento ellittico risultano di 90 gradi fuori di fase e dato che le variazioni del campo magnetico sono controllate dalla porzione più grande, vi è invece una leggera tendenza del sistema a smorzare alquanto i movimenti minori.

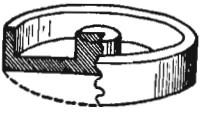
L'argomento degli effetti di perturbazione garantisce contro ulteriori controversie a questo proposito ed in particolare, dal punto di vista della comparazione di questi sistemi con quelli convenzionali con comando a magnete ad anello.

Potrebbe parere che spingendo un pendolo dalla parte superiore, per mezzo di un magnete ad anello, si potesse avere, come risultato, la sensibilità minima del sistema alle asimmetrie, ma questo punto non è completamente vero.

Un pendolo è meno sensibile alle asimmetrie presenti alla sua sommità; in queste condizioni poi è risentita la necessità di una maggiore potenza per lo spostamento iniziale e consecutivo; è comunque la percentuale di asimmetria quella che ci interessa.

Una bobina a nucleo di aria è ovviamente più semplice da costruire, da installare e da mantenere, rispetto ad una bobina ad anello usata per l'azionamento di un pendolo. Va detto però che questo metodo di pilotaggio soffre alquanto, in confronto con il sistema a magnete ad anello, per il fatto che l'intero campo magnetico non viene in questo sistema più evoluto, come accade invece nel precedente, attivato e disattivato, durante il percorso del pendolo per effettuare un vero pilotaggio di questo. La immobile ed inutilizzabile componente di questo campo non è necessariamente simmetrica; per conseguenza, l'asimmetria può essere introdotta continuamente nel sistema. Ciò significa che, in questo sistema, il magnete deve essere più preciso che in un sistema in cui invece il campo varia di valore nella giusta misura, limitandosi a divenire disattivato, ossia privo di alimentazione. Ove lo si desideri, il campo magnetico della bobina a nucleo di aria può essere corretto entro certi limiti con piccole piastrine di ferro o di altro materiale magnetico.

Quando il sistema o lo strumento destinati a qualche esibizione non abbisognano della massima precisione, con una adeguata cura nell'alimento, la deviazione apparente del pendolo dovrebbe rientrare entro il 15 per cento, rispetto al valore preventivato.



128. Nucleo magnetico destinato ad intensificare il pilotaggio nel sistema Mackay.

VI.

FISICA NUCLEARE

1. *Esploriamo l'interno dell'atomo con una attrezzatura casalinga*
2. *Camere a nebbia per l'osservazione dei fenomeni subatomici*
3. *Un semplice spettrometro a risonanza magnetica*
4. *Disintegratore di atomi autocostruito*
5. *Esperimento di Millikan della goccia di olio*

1

ESPLORIAMO L'INTERNO DELL'ATOMO CON UNA ATTREZZATURA CASALINGA

È possibile indagare nell'interno dell'atomo, con una apparecchiatura abbastanza semplice: alcuni vecchi barattoli di latta e di vetro, camere d'aria fuori uso ecc., è tutto ciò che occorre per la costruzione di molte di queste apparecchiature. Una camera a nebbia perfettamente funzionante può essere, ad esempio, messa insieme partendo da un semplice bicchiere da liquore. La fisica nucleare, dal punto di vista sperimentale ed hobbistico, non abbisogna affatto di essere necessariamente costosa o pericolosa.

Qualcuno disse una volta che tutta l'attrezzatura di cui uno scienziato realmente necessita, è un pezzo di carta, una matita ed il proprio cervello. James Clerk Maxwell ed Albert Einstein si cimentarono nel fare avanzare le frontiere della conoscenza umana senza macchine imponenti quali un ciclotrone. Ad ogni modo per la ricerca nel campo della fisica nucleare non è proprio sufficiente una sola matita e della carta.

L'estrema piccolezza dei materiali atomici confina questi ultimi al di là della percezione da parte dei nostri sensi comuni: non è certo possibile gettare un elettrone sul piattello di una bilancia per pesarlo oppure misurare la velocità di rotazione di un protone con un cronometro a pulsante. Sarebbe un legittimo desiderio quello di formulare una qualche teoria sui fenomeni atomici e quindi sperare di collegarla alla natura, nel qual caso si dovrebbe però stabilire qualche contatto diretto od indiretto con l'atomo. In mancanza di questo è opportuno almeno misurare e studiare il maggior numero possibile di conseguenze circa il comportamento dell'atomo.

Il problema di apprendere come l'atomo stia insieme e cosa

accade nell'interno di esso è stato paragonato a quello dello scoprire come un'automobile sia fatta senza ottenere il permesso di visitarne la fabbrica. Si deve ricostruire cosa accade nell'interno dello stabilimento esaminando le materie prime che entrano in questo ed i prodotti finiti che ne escono. Non vi è alcuna norma che proibisca semmai di tentare l'interno con una sonda né di demolire la fabbrica in pezzi, con l'aiuto di una palla di cannone; viene anche consentito di fotografare i materiali di scarto che vengono gettati fuori dalla fabbrica, tecnica questa forse non accurata né precisa come si potrebbe desiderare. Ad ogni modo, quantunque grossolana la tecnica possa essere, l'esperienza ha dimostrato come essa sia abbastanza efficace nello scrostare almeno lo strato esterno dei misteri dell'atomo.

Migliaia di dilettanti di qualsiasi età e qualifica si sono affiancati ai fisici nucleari nell'esecuzione di tali violenti esperimenti. Il cannone usato da dilettanti per bombardare l'atomo non risulta forse così potente o preciso come quello che possono usare professionisti, né tale strumento di solito può essere di grande imponenza e di costo elevato.

La sensibilità di talune apparecchiature costruite dai dilettanti per l'osservazione dei fenomeni nucleari non è però superata da quella presentata dalle apparecchiature professionali ed anche la costruzione di queste apparecchiature è molto semplice. Alcuni anni addietro, per esempio, un appartenente al corpo del Balletto della Music Hall di Radio City, in New York, costruì una camera a nebbia funzionante partendo addirittura da un bicchiere della capacità di 60 centimetri cubici e per ulteriore sorpresa dei suoi colleghi della compagnia avviò un vero hobby per la indagine delle radiazioni cosmiche, dietro le quinte dei teatri.

Di recente, un suo figlio ha presentato una simile camera a nebbia durante una rassegna scolastica di apparecchi scientifici. Al contrario, un gruppo di ragazzi di El Cerrito, in California, dedicò tutto il tempo libero per un periodo di quattro anni, durante gli studi liceali, alla costruzione di un ciclotrone del peso di diverse tonnellate.

La fisica nucleare non deve necessariamente essere un hobby costoso o pericoloso: vi sono atomi di sostanze radiattive dappertutto, perfino nell'aria che respiriamo e miriadi di particelle ad

elevata velocità sfrecciano ogni secondo attraverso il nostro corpo. La maggior parte di esse è rappresentata da protoni, ossia atomi di idrogeno a cui è stato tolto l'elettrone periferico, a seguito di un urto con qualche raggio cosmico. L'osservazione di tali particelle non è alcunché di pericoloso, in quanto si riduce semmai alla osservazione di un sottile filo di vapore formatosi, in condizioni speciali, lungo la linea del loro percorso.

Per variare la direzione di queste particelle durante il percorso e per manipolarle in altre maniere interessanti, si fa uso di metodi elettrici, ma anche in questi casi le ricerche non debbono essere necessariamente pericolose, almeno se viene mantenuta una adeguata attenzione.

Per quello che riguarda il problema economico, gli apparati usati dai pionieri nella fisica nucleare possono essere riprodotti con semplici materiali, quali vecchi barattoli di latta e di vetro, camere d'aria fuori uso, bacchette di acciaio, filo di rame, e piccoli quantitativi di ghiaccio secco. Quando sono messe insieme in maniera appropriata, queste parti permettono di imbrigliare le particelle elementari della materia, di misurarne la velocità, la loro massa, di osservarne la disintegrazione e forse la loro formazione.

È possibile scoprire una girandola rotante a velocità fantastica nell'interno di ogni atomo, osservare il rimbalzo delle particelle e degli atomi stessi, mettere questi in condizione di oscillare e perfino di tracciare piacevoli motivi su di uno schermo fluorescente. Nelle pagine che seguono verranno appunto descritti i procedimenti da seguire per le varie realizzazioni e per gli esperimenti.

2

CAMERE A NEBBIA PER L'OSSERVAZIONE DEI FENOMENI SUBATOMICI

Come gli arcobaleni circolari prodotti dalle nubi attraversate dalla luce del sole condussero C.T.R. Wilson alla invenzione di un potente strumento per indagare nella struttura dell'atomo.

Mentre si trovava all'osservatorio Ben Nevis, in Scozia, nel 1894, C.T.R. Wilson, eminente fisico inglese, venne affascinato dall'effetto creato dalla luce del sole sulle nubi che circondavano la montagna, ed in particolare, dagli arcobaleni formati dalle nubi stesse quando queste circondavano l'immagine del sole. Al suo ritorno all'Università di Cambridge, dove egli era dimostratore anziano, nel Laboratorio di Cavendish, Wilson si provò a riprodurre in miniatura il fenomeno.

La sua attrezzatura consisteva di tre bottiglie, di qualche pezzo di tubo e di una pompa pneumatica; egli introduceva dell'acqua in un bottiglia di grandi dimensioni ed in questa introduceva anche una bottiglia di dimensioni minori ugualmente contenente dell'acqua. Questa ultima veniva trattenuta al suo posto immersa sino a metà della sua altezza, nell'acqua della bottiglia maggiore.

A questo punto la bottiglia maggiore veniva chiusa con un tappo e collegata, mediante un pezzetto di tubazione, alla terza bottiglia nella quale era stato realizzato il vuoto abbastanza spinto. Quando una valvola inserita tra i due recipienti ossia lungo la conduttura veniva aperta, molta dell'aria contenuta nella bottiglia di piccole dimensioni affluiva nella terza bottiglia che veniva usata come serbatoio per il vuoto.

Ne derivava che la maggior parte dell'aria contenuta nella bottiglia di piccole dimensioni capovolta, si dilatava improvvisa-

mente e per l'espansione aveva luogo un considerevole raffreddamento.

A questa temperatura ridotta, l'aria conteneva un quantitativo eccessivo di umidità sotto forma di vapore di acqua in uno stato di sovrasaturazione. Se nell'ambiente erano presenti particelle di polvere od altri nuclei, il vapore in eccesso si condensava su di esse e dava luogo alla formazione di una specie di nebbia.

L'interesse di Wilson si concentrò sul ruolo esplicato da questi nuclei; si conosceva da lungo tempo che questa forma di condensazione poteva essere determinata da altri agenti diversi della polvere. Il fisico tedesco R. Von Hermholtz, per esempio, aveva mostrato che la condensazione di un getto di gas poteva essere accelerata dalla presenza di talune reazioni chimiche o da una fiamma presente nelle vicinanze. Altri studiosi avevano ottenuto la stessa reazione disponendo una lastra di zinco nelle vicinanze del getto di vapore e quindi dirigendo su di essa un fascio di luce ultravioletta.

Wilson produsse questi esperimenti usando, in luogo del getto di vapore, una versione migliorata della sua camera ad espansione. Questo apparato consisteva di un cilindro di vetro, invece del fondo di un recipiente di vetro. La dilatazione veniva ottenuta dal movimento di un pistone sottostante a tenuta pneumatica. Mentre stava sperimentando con questa camera speciale, Wilson osservò il determinarsi di due effetti che parevano agire in opposizione. L'esposizione della camera ai raggi « X » abbassava il livello della dilatazione determinata dal pistone, che necessitava per la produzione della nebbia.

Inversamente, introducendo nella camera due placche metalliche caricate con polarità elettrica opposta, egli trovò che questa presenza poteva determinare la inibizione alla formazione della nebbia. In più egli osservò che i raggi X causavano la formazione di piccole gocce in numero estremamente grande, che potevano essere meglio vedute quando attraversate dal fascio intenso di un raggio di luce. Le nebbie determinate dai raggi X svanivano nello stesso istante in cui alle placche metalliche interne nella camera veniva applicata la differenza di potenziale, il che era una evidente riprova che ciascuna delle goccioline poteva trasportare una piccola carica elettrica.

Sembrava chiaro a Wilson che le goccioline derivavano le loro cariche dagli ioni su cui esse si condensavano; se questa ipotesi era vera, l'apparecchio avrebbe potuto servire come utile strumento per indagare nei fenomeni di ionizzazione nei gas.

Vi era ormai un piccolo passo da questa teoria all'applicazione della camera allo studio delle proprietà già note della ionizzazione da parte dell'uranio.

Wilson osservò che una minima quantità di questo elemento poteva determinare la formazione di nebbia nella camera, anche a distanze dell'ordine di un metro. Durante questi esperimenti egli notò la repentina formazione di alcune « tracce », nell'interno della camera: sottili filamenti di vapore che apparivano nel fascio di luce come fili scintillanti. Infine, questi segni vennero identificati come goccioline formate sulle molecole elettrizzate di gas nel percorso dei veloci frammenti derivati dalla disintegrazione degli atomi di uranio.

Così, dal fascino degli arcobaleni derivò, per un uomo capace, l'invenzione di un potente strumento con cui aggredire l'antica alternativa: di che cosa è composto l'Universo?

Le moderne versioni della camera di Wilson assumono diverse forme: vi sono esemplari miniaturizzati del peso di 20 o 30 grammi, che sono stati trasportati a bordo di palloni, per rilevare la presenza di raggi cosmici, nelle zone rarefatte dell'atmosfera superiore. All'opposto, sono state realizzate camere simili alla culatta di un cannone, del peso di molte tonnellate, per lo studio dei fenomeni subatomici verificatisi in masse di gas compressi a 100 atmosfere e più.

Semplice camera a nebbia da un barattolo di vetro

Questa semplice camera è in grado di mostrare molti degli effetti osservati da Wilson. Per costruirla occorrono pochi altri materiali, all'infuori di una coppia di barattoli di vetro della capacità di 3-400 grammi, un barattolo di latta, un piccolo pezzo di tubo di gomma, alcuni componenti per impianti idraulici ed un palloncino di gomma; la disposizione appare, nel suo complesso, nella fig. 129.

Per costruire la camera si tagliano le estremità dei barat-

toli di vetro in modo da lasciarvi i bordi per il coperchio a vite; si uniscono quindi e si saldano insieme i due coperchi e si taglia via da essi un disco in posizione centrale in maniera da lasciare un foro circolare, in cui si inserisce un corrispondente disco di sottile rete metallica. Successivamente si apre, attraverso il fondo di uno dei barattoli, un foro di diametro sufficiente per accogliere un bulone da 4 millimetri; un altro foro del diametro di 10 millimetri si apre invece sulla parete cilindrica dello stesso barattolo. La foratura del vetro non è difficile: si tratta di eseguire, con una lima a triangolo, diverse intaccature su una estremità di un tubetto di ottone, per crearvi una sorta di dentellatura, quindi di ancorare il tubetto stesso nel mandrino di un trapano elettrico e far ruotare l'estremità del tubetto portante le intaccature alla velocità di 400 giri al minuto circa contro il vetro da forare applicando nella zona di contatto una miscela fangosa di carboriundum del n. 120 addizionato con acqua. Occorre impedire al trapano di oscillare, mentre va mantenuta uniforme la pressione del trapano sino a quando il foro non abbia attraversato lo spessore del vetro.

Il primo barattolo rappresenta la camera di espansione vera e propria; nella parete del secondo barattolo si apre un foro del diametro di 11,5 millimetri, a cui si applica una corta terminazione a vite e un giunto a gomito con una filettatura maschio in una ed una filettatura femmina nell'altra. Queste condutture e gli attacchi, dovrebbero essere della dimensione nota col termine di « 1/4 di pollice »: con il diametro esterno di 14 o 13 millimetri e con quello interno di 10 circa.

Si applica il collo del palloncino sopra l'estremità del gomito e lo si lega per trattenervelo; si inserisce quindi il complesso del tubo attraverso il barattolo e lo si ancora in questo nel modo illustrato, con l'aiuto di adesivo, del tipo a base di gomma od anche con una miscela cremosa di glicerina e litargirio.

Un anello di filo di rame da 2 millimetri viene poi fissato al fondo interno della camera di espansione ed immobilizzato a questo con un buloncino, dopo di che lo si rende a tenuta ermetica con l'applicazione di una sorta di cordoncino di adesivo a base di gomma para. Nel restante foro fatto nella stessa camera si applica un tappo di gomma adatto per chiuderlo.

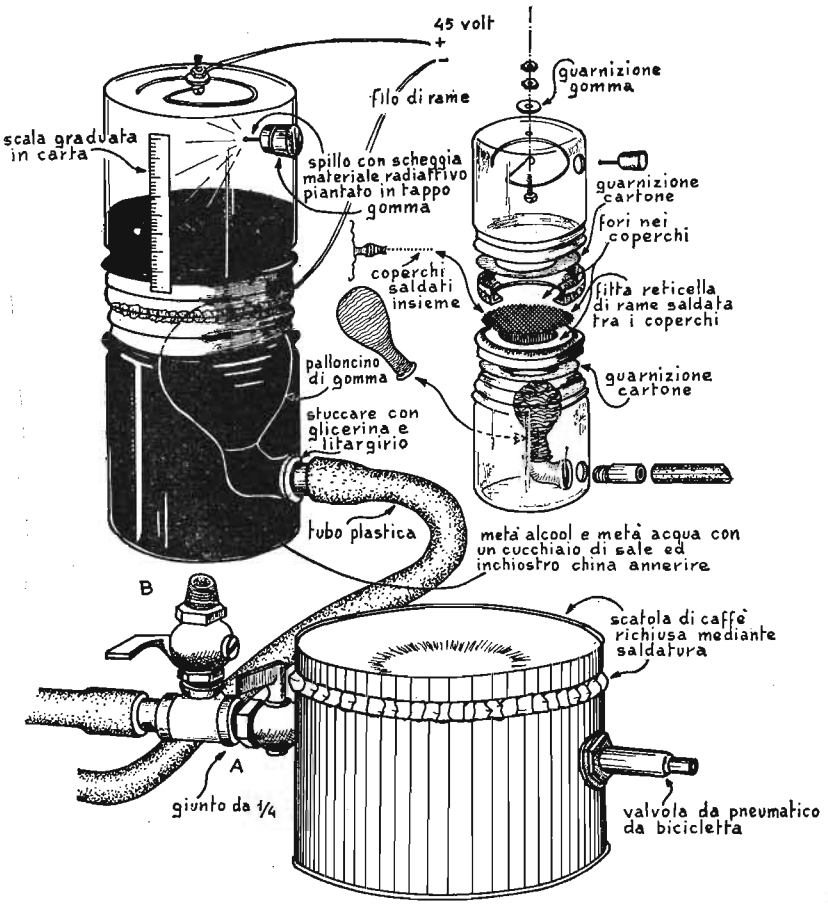
A questo punto si prepara una soluzione consistente di parti uguali di acqua ed alcool al quale è stato aggiunto dell'inchiostro sintetico e mezza cucchiaiata da caffè di sale e, con un imbuto, si riempiono i recipienti attraverso il foro, sul quale viene applicato lo spillo portante il campione radioattivo fatto passare attraverso al tappo di gomma; il livello al quale deve arrivare il liquido è quello illustrato nella fig. 129.

Si collega quindi l'estremità esterna dell'attacco del tubo ad un dispositivo qualsiasi che contenga dell'aria compressa: la fonte più conveniente è rappresentata in questo senso da una camera d'aria per autoveicoli, ma è anche possibile realizzare un conveniente serbatoio di aria compressa delle dimensioni di un barattolo di mezzo chilo di alimenti in scatola; il complesso della valvola ricavato comunque da una camera d'aria serve da conduttura di ammissione.

Si salda un terminale da tubo nell'interno del serbatoio per realizzare la presa di erogazione e si applica ad esso una sorta di valvola adatta per interrompere il flusso dell'aria o per consentirlo, vale a dire l'elemento A della figura, attraverso la quale l'aria compressa defluisce in direzione della camera di espansione; un'altra valvola di erogazione, ossia l'elemento B della illustrazione, è prevista per eliminare la pressione o per limitarla quando questo sia necessario.

Quando si prepara il dispositivo per il funzionamento, si chiudono dapprima entrambe le valvolette e si invia aria compressa nel serbatoio, ad una pressione di 1 o 2 atmosfere; aprendo poi la valvola A si consente il deflusso della corrente di aria in direzione del palloncino e si costringe il liquido a salire dal barattolo inferiore, attraverso la rete metallica, la cui funzione è quella di ridurre la turbolenza, nella camera superiore. Ciò ha l'effetto di comprimere l'aria bloccata al disopra del fluido e di farne aumentare la temperatura. L'aria così riscaldata tende rapidamente a prelevare dal fluido un quantitativo ulteriore di umidità. Si chiude la valvola A e si applica la valvola B: ciò permette di abbassare la pressione esistente nella camera e l'aria sfugge dal palloncino, attraverso la stessa valvola B.

A questo punto si nota l'abbassamento repentino del livello del fluido ed, al tempo stesso, si ha l'abbassamento della temperatura, che dà luogo, nella camera di espansione, ad uno stato



129. Dettagli della Camera di Wilson a nebbia realizzata da due barattoli di vetro.

di sovrasaturazione. Tale funzionamento differisce da quello della camera di Wilson nel fatto che la fase di espansione si conclude quando l'aria della camera si trova ad una pressione sostanzialmente uguale a quella della pressione atmosferica mentre, nell'altro caso, il ciclo si conclude con la camera ad una pressione inferiore. Una più alta pressione dà, alla camera di

questo strumento, un certo vantaggio, in quanto l'aumentata densità del gas migliora le probabilità, per una particella subatomica, di entrare in collisione col nucleo di atomo e quindi dà luogo ad un fenomeno interessante.

Consigli importanti per quanti stiano accingendosi alla costruzione di camere a nebbia di Wilson

I principianti tendono talvolta a semplificare l'apparecchiatura di Wilson, scaricando l'aria direttamente dalla camera, evitando così la complicazione di un pistone, sia meccanico che liquido. Tali iniziative invariabilmente falliscono poiché la turbolenza creata dalla fuga violenta dell'aria, dà luogo a movimenti interni che distruggono le tracce al loro stesso formarsi.

I dispositivi a pistone riescono invece a limitare il movimento dell'aria ad una direzione verticale; si formano effettivamente dei piccoli vortici in prossimità dei punti più bassi delle pareti interne della camera, ma questi non sono comunque d'entità tale da creare problemi.

Wilson si dette particolare cura per prevenire le turbolenze, allorché stava costruendo il secondo esemplare del suo strumento: questo aveva una camera maggiormente accessibile, consistente di un cilindro di vetro e di un pistone. Le parti mobili erano state messe insieme con una precisione quasi ottica, allo scopo di prevenire la fuga dell'aria attraverso il pistone, in direzione della camera.

Lord Rutherford ricordava, negli anni successivi, come durante le prime fasi della costruzione aveva osservato Wilson nel suo laboratorio mentre molava faticosamente il pistone per adattarlo al cilindro. Rutherford, convocato lontano da Canbridge, tornò diversi mesi più tardi e trovò Wilson ancora seduto nella identica posizione ancora nel tentativo di molare quel pistone.

Il terzo e definitivo progetto di Wilson comportava tra l'altro una ingegnosa soluzione al problema di accedere all'interno della camera. Essenzialmente, questo apparato, consiste in un cilindro di acciaio munito di una sorta di coperchio di vetro e di un pistone di buona tenuta, senza albero di comando. Il com-

plesso poggia su di un recipiente poco fondo pieno d'acqua che serve da guarnizione ermetica.

La fase dell'espansione viene realizzata scaricando l'aria al disotto del pistone, attraverso una via di fuga nel centro del recipiente di acqua sporgente appena al disopra del livello dell'acqua. La lunghezza della fase di espansione viene limitata da un blocchetto di arresto in gomma al disotto del pistone. Per raggiungere l'interno della camera, basta sollevare il solo complesso dal recipiente di acqua e quindi tirar fuori il pistone.

Questa è la camera di Wilson descritta nella ben nota monografia che egli presentò nel 1912 alla Royal Society. Un riconoscimento alla bontà di questo progetto sta nel fatto che, durante la restante parte della lunga carriera di Wilson, tutte le ricerche nucleari da esso condotte furono fatte con questo strumento. Esso è ora conservato nel Museo di Cavendish.

Pochi anni fa Sir Lawrence Bragg, chiese a Wilson se lo strumento potesse essere contrassegnato con la qualifica di « originale ». « Perché », esclamò Wilson, « se io non ne ho costruito che uno solo? ».

Certe esigenze debbono essere rispettate, quando si fa funzionare una camera ad espansione: il volume e la velocità di espansione debbono essere mantenuti e gli ioni sfuggenti debbono essere eliminati dalla camera. La fase di espansione del complesso qui descritto si completa in circa un ventesimo di secondo, il tempo ben utile per le esigenze da soddisfare; può essere accelerata aumentando il diametro della tubazione.

Nei suoi primi esperimenti, Wilson aveva appreso che la sovrasaturazione necessaria per dare luogo alla formazione di tracce al passaggio di particelle caricate negativamente, viene ottenuta quando il rapporto del volume della camera dopo l'avvenuta espansione dell'aria in essa, rispetto al volume stesso, prima della espansione, sia di 1,25. Quando si ha questo rapporto, solo poche particelle di nebbia si formano in una atmosfera nella quale vi sia assenza di polvere.

Gli ioni positivi non servono in tali condizioni come nuclei di condensazione per il vapore di acqua sino a quando il rapporto dell'espansione non raggiunge il valore di 1,31. Questa esigenza può essere abbassata alquanto aggiungendo dell'alcool all'acqua. Quando il rapporto della espansione supera il valore

di 1,38, una fitta nebbia di condensazione si forma nella camera anche quando non sono presenti nuclei atti a determinare la formazione di tracce.

Wilson regolava di solito il suo apparecchio in modo da avere un rapporto di espansione compreso tra 1,33 e 1,36. Il rapporto di espansione nella camera realizzata con i barattoli di vetro viene stabilito dal quantitativo di aria che viene ammessa nel palloncino e pertanto dal livello raggiunto dal fluido nella camera di espansione, durante la fase della compressione. Il rapporto può pertanto essere misurato leggendo l'indicazione della graduazione nella scala tracciata su di una striscia di carta, incollata all'esterno del recipiente superiore del vetro.

La camera viene liberata dagli ioni spuri presenti e quindi dalle indesiderate formazioni di nebbia, collegando una tensione tra l'elettrodo di rame presente nella camera di espansione, e la soluzione salina che fa da fondo della camera stessa e che, appunto per la presenza di sale, risulta conduttrice. È una prassi conveniente quella di pulire l'atmosfera nell'interno della camera dando tensione all'elettrodo dopo ogni espansione, e di mantenere questa tensione di eccitazione tra gli elettrodi sino al momento immediatamente precedente quello nel quale viene condotta la successiva espansione.

Coloro che saranno ai primi esperimenti scopriranno che le tracce di condensazione appaiono più visibili quando sono osservate obliquamente, contro la forte luce di un raggio concentrato. Ne deriva che il fondo irregolare del barattolo di vetro attraverso al quale deve passare la luce stessa, non ha certo molto a che fare con l'effetto assicurato dagli apparecchi a precisione ottica ed anche il comportamento delle pareti di vetro dello stesso recipiente non è certamente molto migliore.

Le camere ad espansione per uso professionale, sono fornite di finestrelle di vetro piano, od addirittura in vetro da lastre fotografiche. Se si vogliono eseguire delle buone fotografie delle tracce prodotte dal percorso di particelle subnucleari, occorre anche sincronizzare l'otturatore della macchina fotografica, in modo che esso si apra al momento nel quale viene completata l'espansione dell'aria nella camera. Delle fotografie vennero riprese da Wilson alla luce della scarica di un condensatore rappresentato da un bottiglia di Leida della capacità di 8 decimetri

cubici, attraverso una coppia di elettrodi di mercurio; l'espansione era della durata di un millesimo di secondo. Coloro che dispongono comunque di un flash elettronico del tipo usato dai fotografi potranno evitare il disagio della riproduzione della disposizione di Wilson per la produzione della scintilla. Quanti siano interessati all'esecuzione di esperimenti e, dopo avere provveduto alla costruzione della camera in questa o in altre versioni, desiderano disporre di un frammento anche se piccolissimo di materiale radioattivo per studio, possono ottenerlo gratis, indirizzando una richiesta in questo senso alla Sezione Scientifica dilettantistica, presso Scientific American, 415 Madison Avenue, New York 17 N.Y., allegando per le spese postali 4 coupons internazionali di risposta pagata.

Numerose sono le combinazioni di oggetti comuni che si prestano ad essere utilizzate per la realizzazione delle camere di Wilson. Senza dubbio, la disposizione più semplice consiste in non più che un bulbetto di gomma, quale una peretta applicata a tenuta ermetica sull'imboccatura di un recipiente di Erlenmeyer. Il recipiente in questione viene parzialmente riempito di acqua colorata e viene capovolto. La compressione e l'espansione dell'aria nel recipiente al disopra del liquido vengono ottenute semplicemente premendo il bulbetto di gomma.

Questo dispositivo appare soddisfacente per la dimostrazione visuale degli esperimenti inerenti alla camera a nebbia, mentre si incontra qualche difficoltà quando si prova a riprendere con la disposizione qualche fotografia. È tra l'altro difficile riprodurre due identiche fasi di espansione ed è pressoché impossibile sincronizzare tale espansione con l'otturatore della macchina fotografica. In assenza lo stesso principio che è applicato in questa disposizione semplificata viene applicato anche nella camera a nebbia che viene descritta qui appresso e che si è dimostrata veramente efficiente.

L. R. Hull, insegnante di fisica alla scuola superiore di South Side, in Fort Wayne, Indiana, descrive la sua camera a nebbia azionata da una ventosa di gomma

L'elemento che presiede alla espansione, in questa camera a nebbia, è una sorta di ventosa di gomma usatissima in tutte le

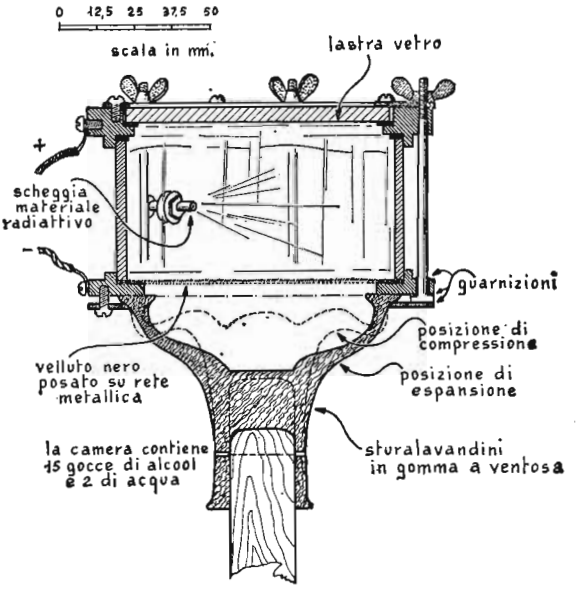
famiglie per liberare i lavandini e gli altri scarichi otturati, denominata comunemente « sturalavandino » od anche « amica dell'idraulico ». Tale elemento opera in una camera realizzata con un cilindro di vetro tagliato via via da un barattolo da un litro e chiuso alla sua estremità con un disco di vetro piatto, fig. 130.

Per effettuare il taglio si avvolge un solo giro di filo di ferro sottile attorno al barattolo e lo si serra a fondo lungo la linea nella quale si vuole che avvenga il taglio, curando però che le estremità di questo filo, nel punto in cui tendono ad incontrarsi sul vetro, non risultino in contatto ma siano separate da una frazione di millimetro per mezzo di un ritaglio di foglia di mica o di amianto.

Ai terminali liberi si applica poi una piccola differenza di potenziale con una forte corrente come quella che si può ottenere da una batteria di accumulatori da 6 o da 12 volt: al passaggio della corrente, il filo sottile di ferro diviene incandescente e somministra una piccola porzione del calore prodottosi su di esso alla superficie del vetro sottostante. Dopo una trentina di secondi si stacca la corrente di alimentazione al sistema e si toglie il filo dal recipiente da tagliare. Immediatamente dopo si immerge il recipiente in questione in un recipiente più grande ed abbastanza fondo, contenente acqua molto fredda.

Come conseguenza di questa operazione, si vedrà il recipiente di vetro trattato tagliarsi con esattezza lungo la linea nella quale era stato riscaldato dal filo incandescente: a questo punto sarà possibile eliminare gli spigoli vivi dal bordo del recipiente lungo il taglio, passandovi sopra un pezzo di carta smerigliata od una pietra abrasiva a grana fine.

La sommità della camera viene chiusa con un disco di plexiglass dello spessore di circa 6 millimetri oppure con un pezzo di lastra di vetro ben regolare di adeguato spessore: la plastica risulta semmai più facilmente lavabile del vetro con l'aiuto di utensili comuni a mano. Nel caso comunque che si decida l'impiego di vetro, si potrà affidare ad un vetraio della zona l'incarico del taglio del disco di questo materiale necessario per la realizzazione (va anche segnalato l'espediente empirico con il quale è possibile tagliare il vetro stesso, addirittura... con le forbici). Si tratta di riempire la vasca da bagno od altro grande re-



130. Dettagli costruttivi di una camera a nebbia azionata da una ventosa di gomma.

cipiente in modo che la lastra di vetro, possa rimanere completamente sommersa nel corso dell'operazione e che lo stesso accada per l'intera forbice con la quale si compie l'operazione. Occorre naturalmente un paio di forbici piuttosto robuste e di non grande valore, in quanto è molto probabile che dopo questa loro utilizzazione fuori dal comune, il loro taglio risulterà notevolmente compromesso.

Tenendo la lastra di vetro con una mano, si tratta quindi di manovrare la forbice con l'altra, asportando dalla lastra stessa, dei piccoli quantitativi di vetro con ogni colpo, sino a determinare l'arrotondamento dei contorni del pezzo stesso, secondo le dimensioni volute: data la lunghezza dell'operazione è quindi evidente la convenienza di tagliare dapprima dalla lastra di vetro, un quadretto avente il lato molto prossimo a quello che deve essere il diametro del disco da realizzare.

Coloro che siano interessati alla spiegazione del fenomeno che rende possibile questo insolito sistema di taglio del vetro, potranno rendersene conto tenendo presente che l'acqua nella quale tutto è immerso ha l'effetto di smorzare tutte le vibrazioni che tenderebbero a determinare la rottura del vetro stesso ed a trattenere questo in una sorta di morsetto elastico ma molto tenace.

Un altro sistema per il taglio del disco di vetro è quello della realizzazione di una sorta di compasso, avente, come punta ruotante lungo la circonferenza, una piccola punta di diamante da vetraio. In tutti i casi descritti comunque, conviene sempre smussare i bordi e gli spigoli taglienti del vetro, passandovi sopra una pietra abrasiva.

Il cilindro di vetro, il disco comunque preparato, e la ventosa sturalavandini, vengono uniti insieme con l'aiuto di anelli e di flange metalliche, che possono essere a loro volta realizzate in sezioni da lastrina di metallo e quindi saldate insieme. Se è disponibile un tornio a metallo, sarà possibile realizzare queste flange, ed anelli, direttamente dal metallo massiccio e quindi più solido, a tutto vantaggio della solidità e dell'aspetto dell'insieme.

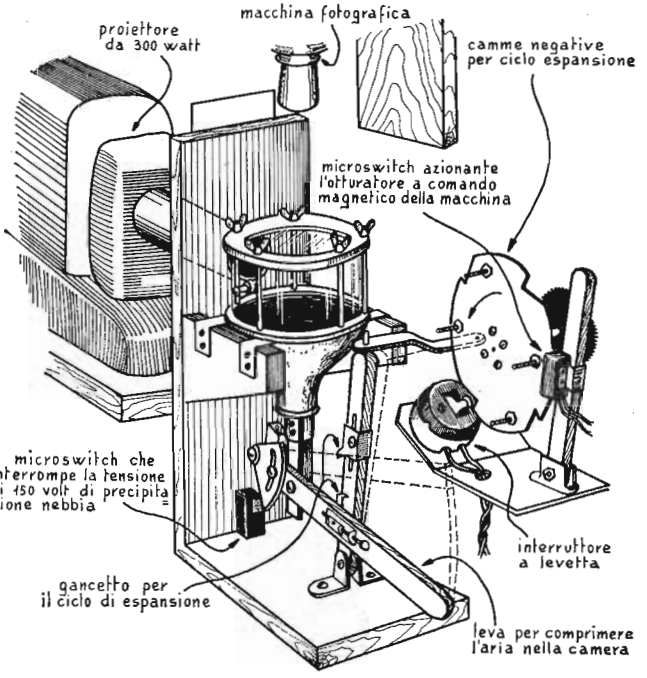
Vanno anche inserite delle rondelle e guarnizioni di gomma, dove vetro e metallo vengono in contatto. La turbolenza della massa di aria presente nella camera viene minimizzata inserendo un disco di velluto nero, sostenuto da un pezzo di rete metallica, tra la cavità della ventosa di gomma e la camera. Il campione della sostanza radiattiva da esaminre viene sostenuto nella corretta posizione nell'interno della camera, per mezzo di un bulone fatto passare attraverso un forellino fatto nella parete di vetro e reso ermetico con una fasciatura di cera.

La camera così montata viene sostenuta su di una staffa di legno; l'espansione viene prodotta nell'apparecchio, mediante un meccanismo a leva, attivato da una canna mossa da un motore. La camera viene illuminata di traverso per mezzo di un proiettore di diapositive avente una lampada della potenza di 300 watt circa, il cui fascio possa essere interrotto o lasciato libero, mediante una specie di otturatore a rapido comando, ad azionamento elettromagnetico. La macchina fotografica incaricata della ripresa del fenomeno, viene disposta sulla verticale del com-

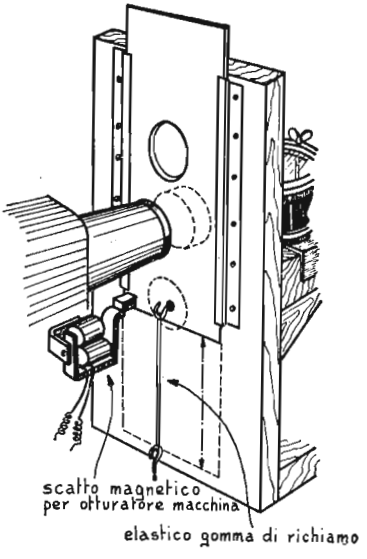
plesso e quindi viene puntata verso il basso, in direzione preferibilmente assiale, v. fig. 131.

Per attuare la fase della compressione, si solleva rapidamente la leva orizzontale e la si aggancia alla leva verticale. Le condizioni della compressione non comporterebbero un aumento della pressione maggiore di 1/3 di atmosfera, altrimenti si noterebbe il fenomeno del prodursi, nella camera stessa, della nebbia durante la fase dell'espansione anche in assenza di particelle atomiche.

Dopo circa 30 secondi si può avviare il motore: la camma entrerà in rotazione avanzando sino a che il braccio metallico alla sommità della leva verticale non cada in una indentatura presente nella camma stessa. In queste condizioni, una molla tende a tirare la leva verticale lontano dalla camera, sganciando la



131. Camera a nebbia azionata da uno sturalavandini di gomma, munita di una macchina fotografica automatica per la ripresa dei raggi alfa e beta.



132. Dettagli del comando elettromagnetico dell'otturatore di macchina fotografica.

leva orizzontale. La ventosa di gomma dello sturalavandini allora, per la sua elasticità, scatta per assumere la sua forma originale adempiendo alle condizioni necessarie per il determinarsi della fase di espansione.

Il campo elettrostatico per la eliminazione delle tracce spurie come degli ioni indesiderabili viene applicato alla camera automaticamente, durante la fase della compressione, per mezzo di un interruttore sensitivo miniatura azionato nel modo indicato dalla leva orizzontale. In esatta corrispondenza del termine della fase della espansione poi, il campo stesso viene interrotto per l'apertura dell'interruttore ed allo stesso momento, i due conduttori che portano la tensione nell'interno della camera vengono automaticamente messi in corto, per eliminare la carica presente su di essi.

Analogamente, la camma azionata dal motore viene munita di interruttori o di contatti per l'accensione della lampada del proiettore e per lo scatto dell'otturatore della macchina, operazioni queste che debbono avvenire in logica successione. Il tempo di esposizione per la esecuzione della foto viene stabilito

da un elastico a molla agganciato alla leva dell'otturatore, v. fig. 132.

La proporzione ed il quantitativo del liquido nella camera sono valori non critici; delle buone tracce di nebbia si sono ad esempio ottenute con semplice alcool da massaggi. Le prestazioni del sistema vengono comunque influenzate alquanto dalla temperatura dell'ambiente. Al disopra della temperatura di 25 gradi i risultati possono essere migliorati diluendo leggermente l'alcool con acqua distillata, ad esempio, di 15 parti di alcool con 2 di acqua, entrambe considerate in volume.

Occorre tenere presente che la produzione della nebbia può essere il risultato sia di un eccesso effettivo della umidità nell'ambiente interno della camera, come anche di una eccessiva espansione del gas. Raramente, nella camera, occorre introdurre un quantitativo superiore di 20 gocce di liquido, perché questa possa funzionare, occorre d'altra parte non attendersi la formazione di tracce di nebbia durante le prime fasi della espansione, in quanto occorre un certo tempo, perché parte del liquido possa evaporare e creare nell'interno della camera, le neccessarie condizioni di umidità.

Le tracce di nebbia prodotte dal percorso di particelle beta che, come è noto, sono semplici elettroni, sono molto più sottili di quelle prodotte dalle particelle alfa, nuclei di olio, e quindi sono più difficili da vedere, ma possono ugualmente essere osservate, specialmente quando le tracce prodotte dalle particelle alfa si siano dissipate.

Camera a nebbia a diffusione funzionante con ghiaccio secco

Un'altra versione di camera a nebbia, ancora più semplice di quelle descritte da Hull, può essere messa facilmente insieme, al solo patto che si abbia possibilità di approvvigionamento di piccoli quantitativi di ghiaccio secco, ossia di quella sostanza freddissima che viene usata per conservare i gelati nelle confezioni da trasporto.

In questa versione si tratta semplicemente di ancorare un disco di carta assorbente intrisa di alcool al fondo di un barattolo, di avvitare il coperchio sul barattolo stesso e quindi di appli-

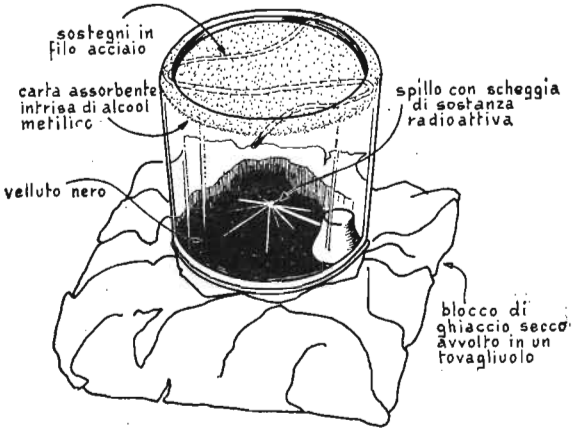
care il recipiente in questione, capovolto, su di un blocchetto di ghiaccio secco in modo che la disposizione risulti quella che appare dalla fig. 133. Ad intervalli di alcuni secondi una netta, seppur provvisoria, traccia di vapore, apparirà in prossimità del fondo del recipiente, ovviamente nel suo interno; la maggior parte di queste tracce sono prodotte dalle particelle subatomiche espulse continuamente dalle sostanze radiattive che, pur in tracce piccolissime, si trovano dappertutto, oppure determinate dai frammenti degli atomi dei gas che compongono l'aria, colpiti dai raggi cosmici, di cui è ben nota l'elevata energia.

Una volta ogni tanto, comunque, le tracce in questione staranno a testimoniare il passaggio attraverso il recipiente di una particella primaria di radiazione cosmica, proveniente dallo spazio, forse conseguenza ora visibile di un avvenimento verificatosi milioni di anni addietro di una stella esplosa.

Un apparato di questo tipo viene chiamato « camera a diffusione »: il suo principio di funzionamento come anche la sua costruzione vengono descritti da I. C. Carnog, del Laboratorio di fisica Randal Morgan, dell'Università della Pensylvania.

Si suppone che un recipiente chiuso ed a tenuta sia disposto in una condizione per la quale la sua estremità superiore sia calda e quella inferiore sia invece molto fredda, in modo che alla sommità del recipiente vi sia del liquido in corso di evaporazione. Questo dà luogo alla produzione di una brusca variazione di temperatura, nell'interno del recipiente; con il liquido alla sommità avente quasi una temperatura uguale a quella dell'ambiente, e con il fondo invece ad una temperatura di quasi 70 gradi sotto zero. Dopo un certo tempo, il vapore che si è prodotto alla sommità del recipiente, si vede in continua diffusione verso il basso, divenendo così più freddo e più saturo man mano che si muove.

In prossimità del fondo del recipiente diviene poi sovrasaturo ed in quella zona il filo di nebbia prodotto da una particella ionizzante in rapido movimento apparirà proprio come accade nella camera ad espansione. Se queste condizioni vengono mantenute e se la zona del recipiente vicina al suo fondo, che risulta sensibile per le sue condizioni di sovrasaturazione, viene illuminata adeguatamente, le radiazioni che entrano continuamente nel recipente di vetro, potranno essere osservabili come con qualsiasi altro strumento di ricerca.



133. Camera a nebbia del tipo a diffusione, realizzata da un barattolo di vetro.

La più semplice versione di una tale camera continua a diffusione, consiste semplicemente di un grande vaso di vetro, nel cui interno, al fondo, si trova un pezzo di velluto nero avente lo scopo precipuo di creare un contrasto sul quale le tracce di nebbia prodotte dalle particelle potranno essere più facilmente osservate.

Alla sommità del recipiente viene sistemato un rettangolino di cartone che viene mantenuto saturo di alcool; il recipiente viene posato su di un blocco di ghiaccio secco. Nella regione sensibile di sovrasaturazione di cui è stato fatto cenno in precedenza le tracce appariranno, in prossimità del fondo del recipiente, poco tempo dopo che il dispositivo sia stato disposto sul blocchetto di ghiaccio secco.

È comunque anche probabile che non si possa vedere nulla almeno all'inizio, anche se le particelle che debbono determinare la formazione delle tracce, siano presenti: anche in questo caso comunque, si tratterà di attendere, sperando il miglioramento della situazione. Dopo un certo tempo, si sarà stabilito il necessario gradiente di temperatura, e le particelle di polvere saranno scomparse, al che si avrà la possibilità della osservazione delle tracce di vapore, quando si guarderà verso il basso, nel recipiente, in direzione della parete dalla quale entra nel recipiente stesso la luce della illuminazione.

Sette consigli per la realizzazione di una camera a diffusione funzionante

Ho costruito diverse camere a diffusione basate sulla descrizione del Dr. Cornog ed ho avuto l'occasione di osservare con esse delle belle tracce di particelle nucleari; ma molte cose possono andare contro le previsioni nel corso degli esperimenti. L'intervallo tra il momento del termine della costruzione di una camera ed il momento in cui questa comincia a funzionare regolarmente, può comunque essere abbreviato se vengono curati opportunamente i seguenti dettagli:

1) Il contenitore deve essere sufficientemente ermetico dal punto di vista della tenuta: un recipiente ad imboccatura larga, completata con un coperchio metallico a vite con guarnizione, funziona certamente meglio di un recipiente che poggi semplicemente su di una superficie sia pure regolare. Se questa ultima disposizione viene adottata, si tratterà di inumidire con alcool la piastra metallica, allo scopo di formare una guarnizione ermetica liquida.

2) L'importanza dell'illuminazione laterale non deve essere esagerata. Il fascio di luce prodotto da un proiettore da film o da diapositive a passo ridotto, può costituire un adeguato sistema di illuminazione. Il fatto importante è quello che siano illuminate intensamente le singole goccioline, a confronto della zona circostante, lasciata in relativa oscurità.

3) Occorre imparare ad individuare le tracce filamentose di vapore, o meglio di goccioline condensate, non appena queste appaiono; ben presto, dopo che il complesso è in funzione, una sorta di nebbiolina, si formerà all'altezza di 50-70 millimetri, rispetto al fondo del recipiente ed una specie di pioggia prenderà a cadere dalla nebbia stessa. Questo fenomeno, diciamo così micrometeorologico, risulterà accentuato se il fondo di velluto applicato alla camera sarà stato inumidito con dell'alcool. La pioggia sarà facile da riconoscere e distinguere dai filamenti delle tracce prodotte dalle particelle subatomiche, che appariranno come sottili fili argentei nel mezzo della pioggia stessa. Tali filamenti rimangono distinti per un secondo circa, dopo di che svaniscono come piccole nuvole di fumo.

4) Se si usa, come camera, un recipiente capovolto, è opportuno incollare il tampone di cartone intriso di alcool alla faccia interna del fondo ed incollare invece il disco di velluto alla superficie interna del coperchio metallico. L'adesivo deve essere lasciato riposare il tempo necessario per seccare completamente, altrimenti esso ed il solvente in esso contenuto, potrebbero andare ad inquinare l'alcool e quindi compromettere l'esperimento.

Un altro, e migliore, sistema per tenere insieme le parti è quello di usare un anello di acciaio con interruzione, come molla circolare ad espansione, oppure qualche altro dispositivo simile.

5) Va ricordato che deve esservi una netta differenza di temperatura tra la sommità ed il fondo della camera: il ghiaccio comune, non può andar bene in questo esperimento, una differenza di temperatura dell'ordine dei 65 gradi centigradi deve essere mantenuta tra la sommità ed il fondo del recipiente. Il complesso potrebbe essere disposto direttamente su di un blocco di ghiaccio secco; in tal caso, un fondo di metallo, a causa della sua maggiore conduttività termica, opera assai meglio di una lastra di vetro o di plastica.

Il ghiaccio secco dovrebbe poggiare su di un materiale adatto all'isolamento termico, quale il cartone ondulato od il polistirolo espanso. In più la porzione del blocco di ghiaccio secco che risulta non coperto dal recipiente che viene poggiato su di esso, deve essere coperto con uno straccio spesso, allo scopo di impedire che i vapori freddissimi prodotti in vicinanza del ghiaccio stesso, si elevino lungo le pareti esterne della camera, disturbando così l'osservazione dei percorsi delle particelle nell'interno di questa.

6) Un tampone di cartoncino, bene intriso, contiene un quantitativo sufficiente di alcool per mantenere la camera in funzione per circa otto ore. Come è stato accennato in precedenza, la piastra di metallo che fa da fondo dal recipiente deve essere inumidita ma non inondata con l'alcool in quanto uno strato di alcool di eccessivo spessore tende a ridurre lo spessore della zona sensibile della camera a nebbia.

7) È facile bloccare il funzionamento della camera con un materiale fortemente radioattivo. Il quantitativo pur minimo di materiale luminescente e quindi radioattivo presente sulle lan-

cette di un orologio a quadrante fosforescente, riesce a bloccare il funzionamento della camera, da una distanza di 45 centimetri; ne deriva che, per gli esperimenti, occorre usare solo delle tracce minime del materiale radioattivo riducendone semmai la concentrazione diluendole con materiali inerti, quali ad esempio, una massa cremosa di un adesivo a base di cellulosa. D'altra parte la sensibilità dell'apparecchio è talmente elevata da permettere delle appassionanti osservazioni addirittura sulle tracce prodotte dalle radiazioni cosmiche che continuamente raggiungono la superficie della terra ed attraversano pertanto con la massima facilità le pareti della camera.

Descrizione del Maggiore Reuben B. Moody, dell'Aeronautica militare Statunitense, di una camera a diffusione più perfezionata

Con mio fratello ho speso molte ore piacevoli nella costruzione di camere a nebbia di varie forme e dimensioni e di queste talune hanno funzionato ottimamente.

La nostra prima camera era stata costruita in relazione alle istruzioni fornite dal Dr. Cornog. Come camera vera e propria usammo un barattolo a bocca larga che aveva contenuto, in origine, dei sottaceti, munito di un coperchio a vite con guarnizioni di plastica. Una spugna sintetica, in Moltopren, era stata fissata al fondo del barattolo con mollette circolari ad espansione, realizzate con anelli di filo di ferro; dopo di che, la spugna era intrisa abbondantemente di alcool per disinfettare. Applicammo, tendendovelo, sulla imboccatura del recipiente un pezzo di tessuto nero sul quale posammo appunto il coperchio a vite del recipiente.

Il barattolo così preparato venne posato, capovolto, su di un blocco regolare di ghiaccio secco; i lembi sporgenti dal coperchio, del tessuto nero tutt'intorno, vennero poi distesi sul blocco di ghiaccio per coprirlo, assicurando, al tempo stesso, uno sfondo nero contrastante per una migliore visibilità delle tracce minute e per eliminare via via i vapori prodotti attorno al ghiaccio stesso.

Quasi subito avemmo occasione di rilevare la formazione di

una pioggia in miniatura ed entro cinque minuti potevamo notare le tracce delle particelle sotto forma di filamenti di vapore. (Mia moglie, che non era eccessivamente entusiasta in fatto di argomenti scientifici, era invece delusa, in quanto in questo nostro temporale in miniatura non si erano potuti osservare i lampi di alcun fulmine).

La nostra prima camera a nebbia rimase attiva per tutto il tempo della durata del blocco di ghiaccio secco, ossia circa sette ore. Sebbene noi fossimo già affascinati ed appagati da questo primo risultato, cominciammo a pensare ai modi per migliorarlo e per ridurre l'affaticamento alla vista che derivava dall'osservazione dell'apparecchio in queste condizioni. Lo spessore dello strato sensibile ossia di sovrasaturazione esistente nella nostra camera costruita dal barattolo di vetro, non fu mai superiore ai 25 millimetri. In più, la fatica agli occhi era molto forte, a causa anche dell'esistenza spettrale e di breve durata delle tracce ed a causa delle riflessioni esistenti sulle parti interne ed esterne del recipiente di vetro.

Dato che il metallo risulta un conduttore termico più efficiente del vetro, noi giungemmo a concepire l'idea che la differenza di temperatura, elemento di così grande importanza, avrebbe potuto essere eccentuata costruendo una camera a nebbia metallica. Per questo prelevammo in cucina un barattolo di metallo del diametro e della profondità di 150 millimetri.

Dopo aver dipinto le superfici interne di questo recipiente con vernice nera opaca, tagliammo in esso, una sopra l'altra, tre finestrelle rettangolari con base più larga dell'altezza. Tali finestrelle delle dimensioni di 25×75 millimetri avevano la funzione di permettere il passaggio della luce di illuminazione e di oblò per l'osservazione.

Sulle finestrelle incollammo delle striscette di cellophan: avevamo infatti scoperto che il nastro autoadesivo tipo Scotch non poteva sopportare la temperatura bassissima senza indurire e contrarsi, perdendo così le sue proprietà adesive. Per assicurare la tenuta ermetica del recipiente, applicammo poi lungo i bordi delle finestrelle di cellophan delle strisce di plastica autoadesiva, quale è venduta attualmente dagli elettricisti in sostituzione dell'antiquato nastro isolante di tela.

Al fondo del recipiente applicammo un disco di velluto nero

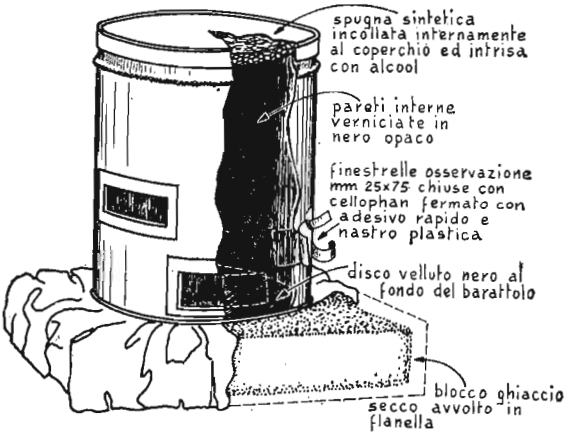
tagliato alle dimensioni esattamente necessarie e fissammo con un poco di colla, alla faccia interna del coperchio del recipiente, un disco di spugna sintentica, v. fig. 134. Con una tale camera metallica ottenemmo risultati migliori: l'affaticamento agli occhi era stato eliminato, la sezione sensibile, dove regnava lo stato di sovrasaturazione, era aumentata in spessore, a ben 60 millimetri ed, in queste condizioni, ci capitò di osservare da 30 a 50 tracce di nebbia al minuto. Anche questa volta, la camera rimase attiva per tutto il tempo della durata del ghiaccio secco, vale a dire di 18 ore con un blocco di ghiaccio dello spessore di 50 millimetri.

Gareth D. Shaw, un tecnico di Baltimora, Maryland, discute alcuni aspetti teorici di una camera a nebbia da lui costruita per individuare le particelle subatomiche e misurare le loro principali caratteristiche

Tutte le camere a nebbia sono basate sul fatto che, quando particelle dotate di una carica elettrica si muovono attraverso ad un gas a velocità elevate, ha luogo la generazione di ioni. Gli scontri ed anche i passaggi ravvicinati delle particelle con un atomo esistente nel loro percorso danno luogo all'espulsione dall'atomo colpito o sfiorato, di un elettrone. Il processo determina la formazione di due particelle elettricamente cariche: l'elettrone stesso, notoriamente negativo e l'atomo ionizzato, ora divenuto positivo, per il fatto di aver perso l'elettrone, il quale è appunto una unità di carica negativa. Sia l'una che l'altra delle particelle possono disturbare il delicato equilibrio esistente tra le forze elettriche, in una vicina molecola di alcool, allo stato di vapore.

Quando si avvicina fortemente ad uno ione, la molecola assume per induzione, sulla faccia di essa rivolta allo ione stesso, una carica che risulta di segno opposto. In conseguenza, la molecola e lo ione risentono di un'attrazione reciproca. Le altre molecole che si trovano nelle vicinanze reagiscono in maniera simile, lo ione pertanto agisce come centro focale di condensazione.

Quando la temperatura del gas nel quale avviene il feno-



134. Versione migliorata della camera a diffusione o continua.

meno è al disotto del punto di condensazione del vapore, si forma rapidamente una gocciolina di alcool liquido. Dato poi che una particella subatomica in rapido movimento lascia nel suo percorso migliaia di ioni, è facile comprendere come la successione in fila delle molte goccioline dia appunto luogo a quello che appare un filamento di vapore e che contrassegna il percorso della particella in questione.

Lo sperimentatore è interessato alla forma ed alle dimensioni delle tracce di vapore, dato che esse possono fornirgli degli elementi validi per identificare le particelle subatomiche che le hanno determinate. È pertanto importante minimizzare le correnti di convezione esistenti nell'interno della camera, che tenderebbe a distorcere i filamenti, filtrando ed intercettando il maggior quantitativo di radiazione termica presente nel fascio prodotto dal proiettore di illuminazione.

Un buon filtro si può ad esempio realizzare facendo passare il raggio attraverso le pareti parallele di un acquario di piccole dimensioni, di forma rettangolare, riempito di acqua; la maggior parte dei proiettori, possiede invece già degli speciali filtri antitermici, oltre ad un ventilatore, per abbassare la temperatura dell'ambiente.

Possono essere talvolta necessari per un'adeguata illuminazione, specie per l'esecuzione di fotografie, una coppia di proiettori invece che uno solo: di solito, comunque, le tracce possono essere meglio osservate e fotografate da un angolo di circa 120° rispetto alla linea di provenienza dei fasci di luce ciascuno dei quali spaziati, poi, di circa 120° dal finestrino della osservazione.

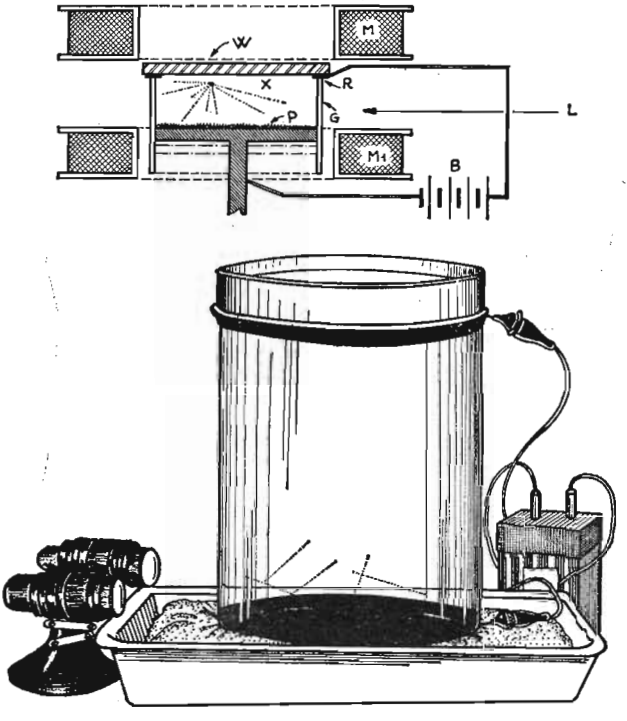
Le fotografie possono essere eseguite economicamente con una macchina fotografica da 35 millimetri, ossia formato Leica, con un'ottica di luminosità compresa tra f/3,5 ed f/8, con velocità di otturatore dell'ordine di 1/10 ad 1/100 di secondo, su di un film con sensibilità di 25 Din circa. Le fotografie visibili in queste pagine sono state riprese con pellicola Kodak tipo Tri-X, e sviluppate con sviluppatore a grana fina Kodak-Microdol.

Quando si ha un livello relativamente basso della luce di illuminazione, si può attuare un procedimento di forzatura dell'immagine usando lo stesso sviluppatore: in pratica, il film presenta, quando viene tenuto nel bagno di sviluppo per un tempo doppio di quello prescritto, un'immagine di tale densità come se la foto fosse stata ripresa, nelle stesse condizioni, ma con una pellicola di sensibilità doppia.

Una volta che abbia assunta la necessaria padronanza nell'esercizio della camera, lo sperimentatore può pensare ad una ulteriore evoluzione di questa, applicandole cioè un campo magnetico nella maniera illustrata schematicamente nella fig. 135.

Una camera a nebbia priva di un campo può essere qualche cosa di simile ad una bilancia priva delle graduazioni atte ad indicare il peso dell'oggetto che viene posto su di essa: risulta pertanto qualche cosa di interessante ma non certo di utile. Quando una particella carica elettricamente si muove ad angoli retti rispetto alla direzione di un campo magnetico viene contrastata da una forza ad angoli retti sia con la direzione rispetto alla sua direzione come a quella del campo. Se quindi il campo in questione si sviluppa in una direzione verticale, per esempio, e la particella si muove da est verso ovest, si ha una deviazione del moto della particella stessa, con una accelerazione nella direzione nord-sud.

Come conseguenza di questo abbiamo che una particella che



135. *In alto,* disposizione schematica per l'applicazione di un campo elettrico della camera a nebbia. *In basso,* realizzazione pratica del sistema con campo magnetico e luci laterali.

entri in un campo magnetico uniforme segue un percorso circolare, come quello nella fig. 136. Il raggio e la direzione del percorso in questione, dipende sia dal segno come dalla intensità della carica presente sulla particella, nonché dalla massa e dalla velocità posseduta da essa, ed infine dalla intensità e dalla direzione del campo che determina la deviazione.

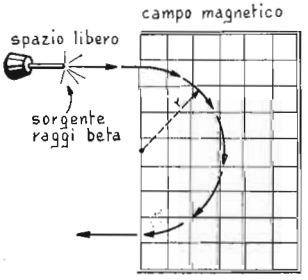
Un magnete adatto per la produzione del necessario campo elettrico può essere costruito con poca spesa, partendo da ritagli di acciaio specialmente reperibili presso qualsiasi commerciante di rottami. Il magnete consiste di due espansioni polari ed un giogo realizzato con due elementi rettangolari, v. fig. 137.

Le espansioni polari sono lunghe circa 125 millimetri. L'elemento superiore va lavorato sino ad un diametro di 225 millimetri mentre quello inferiore va lavorato ad un diametro di 175 millimetri. Entrambi questi elementi possono essere realizzati partendo da barra di acciaio tenero.

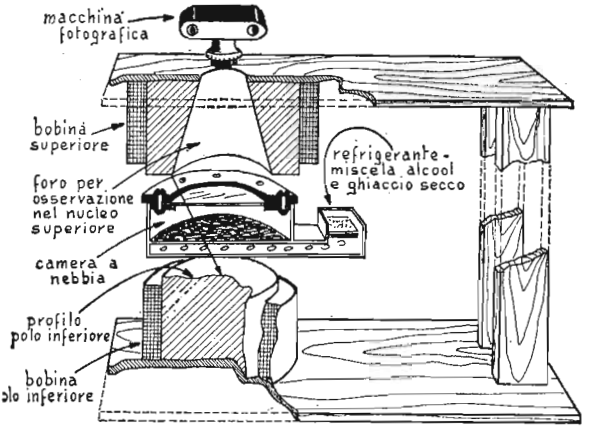
Nella espansione polare superiore deve essere eseguito un foro conico avente un diametro di 50 millimetri alla sommità e 125 millimetri al fondo; tale foro rappresenta una adeguata finestrella per l'osservazione e per la ripresa fotografica delle tracce che si manifestano nell'interno della camera. L'espansione polare inferiore va invece lavorata in modo da dare luogo alla produzione di un campo magnetico uniformemente distribuito lungo la regione « sensibile » della camera, in quella cioè dove è presente l'atmosfera di sovrasaturazione necessaria per la formazione delle tracce. In particolare, la faccia di questa espansione presenta la forma di un cono molto largo e con la superficie curva. Il vertice, ossia il punto della massima concavità, può essere smussato alquanto ed essere portato ad un raggio di 3 millimetri, per evitare che il flusso magnetico sporga da questo punto.

Il bordo interno della espansione polare superiore, coincide poi con il centro di curvatura della faccia dell'espansione polare inferiore; il raggio di curvatura nel caso del magnete da me realizzato era di 100 millimetri, e tale dimensione è quella contrassegnata con la lettera « r », nella illustrazione.

Le espansioni polari vanno saldate ad una coppia di piastre di acciaio tenero, ciascuna delle quali delle dimensioni di 250×450 millimetri ed entrambe dello spessore di 10 millimetri. Tali piastre vanno poi saldate a loro volta agli elementi



136. Percorso di un elettrone ad angoli retti con un campo magnetico uniforme.



137. Camera a diffusione munita di campo magnetico prodotto da una elettrocalamita.

spaziatori, ugualmente realizzati di acciaio tenero, dello spessore di 38 millimetri, e delle dimensioni di 50×350 millimetri. Tali spaziatori servono a provvedere una sorta di traferro in aria, dello spessore di 100 millimetri tra le due espansioni polari.

Ciascuna delle due bobine per la eccitazione del magnete consiste di 1000 spire di filo da 1,6 millimetri di rame smaltato, per avvolgimenti, avvolto su di una forma di legno e quindi assicurato tutt'intorno con una fasciatura di nastro di plastica autoadesiva. Per la realizzazione di queste due bobine occorre in totale circa un quantitativo di 25 chilogrammi di filo.

Le forme di legno debbono essere maggiori, in diametro, di 1,5 millimetri rispetto al diametro delle espansioni polari, in modo da rendere possibile l'applicazione delle bobine stesse su tali espansioni una volta che queste siano sfilate dalla forma, nonostante che siano state completate con la fasciatura di nastro di plastica, la quale occupa dello spazio, anche se poco.

La bobina inferiore poggia sulla placca del giogo e non richiede alcun fissaggio, quella superiore invece è sostenuta da un anello di alluminio fissato alla espansione superiore con buloncini.

All'alimentazione di questo elettromagnete si provvede con

una tensione di 100 volt sotto una corrente continua di 6 ampère; i vari elementi sono dimensionati in maniera da assicurare la possibilità di periodi di funzionamento continuo di 15 minuti. Se comunque questo periodo di tempo viene prolungato, si va incontro ad un eccessivo riscaldamento dell'avvolgimento. In queste condizioni normali di tensione e di corrente, l'elettromagnete produce un flusso magnetico di 1000 Gauss, nella zona della camera che viene detta « sensibile » per la ragione spiegata più sopra.

Per la produzione della necessaria tensione e corrente continua per l'eccitazione del sistema, si può usare un gruppo motogeneratore per saldatura elettrica o qualsiasi apparecchiatura analoga, spesso reperibile tra il materiale residuato; d'altra parte, un complesso analogo, può anche essere realizzato con elementi statici, quale un semplice trasformatore riduttore ed un gruppo di raddrizzatori al selenio o meglio ancora con i moderni diodi al silicio, curando in ogni caso il raffreddamento del sistema con l'aiuto di qualche grosso ventilatore.

Le due bobinette debbono essere collegate in serie, in modo che la corrente circoli, in entrambe, nella stessa direzione. Quando queste sono collegate nella maniera corretta, la punta rivolta al nord di una bussola comune sarà orientata verso il nord su di una espansione polare, mentre si rivolgerà verso sud, applicata all'altra espansione polare.

Una resistenza da 1000 ohm della capacità di dissipazione di una ventina di watt e quindi a filo, dovrebbe essere collegata costantemente tra i terminali esterni dell'avvolgimento, allo scopo di dissipare l'energia che si produce nell'avvolgimento, al momento della interruzione della alimentazione e che deriva dalla cosiddetta autoinduzione, v. fig. 138. Senza questa resistenza, ad ogni interruzione dell'alimentazione potrebbero derivare delle forti scariche ad arco, tra i contatti dell'interruttore, tanto forti da determinare la « bruciatura » dei contatti stessi.

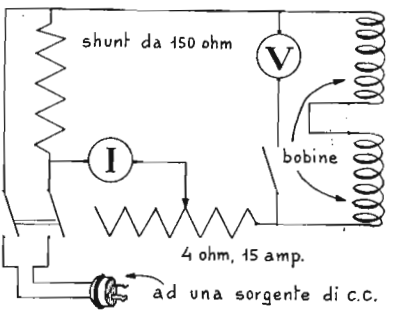
Se si inserisce tra i capi dell'avvolgimento, un voltmetro o qualsiasi altro strumento analogo, questo dovrebbe essere disinserito prima del distacco della corrente di alimentazione delle bobine stesse altrimenti, il forte picco di corrente della autoin-

duzione (fenomeno comparabile al ben noto colpo di ariete idraulico che si determina nelle condutture percorse da liquidi) potrebbe danneggiare lo strumento stesso.

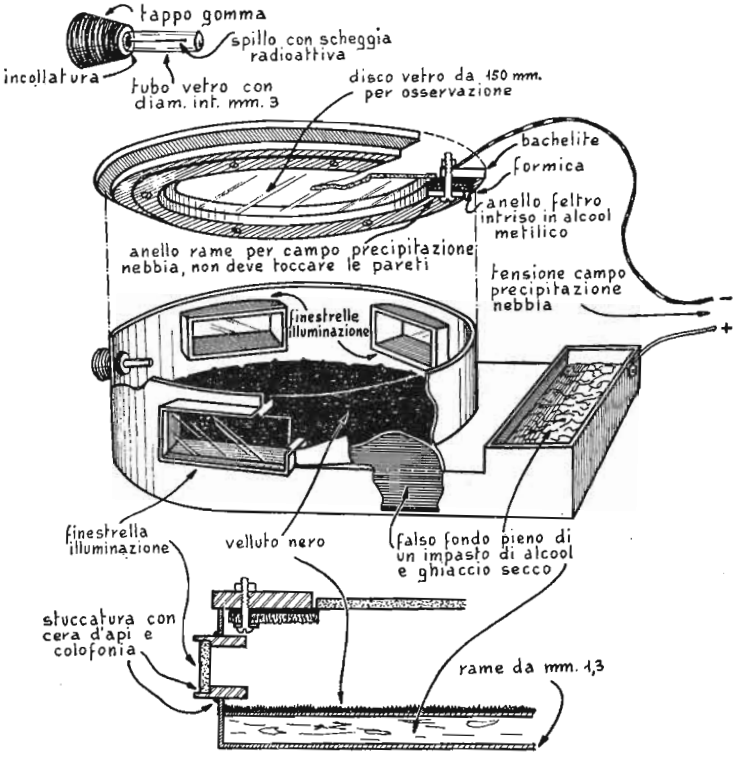
Allorché il magnete è pronto per entrare in funzione, l'intensità del campo magnetico deve essere misurata nella zona dove deve risultare durante il funzionamento la zona « sensibile » della camera a nebbia. La corrente poi deve essere regolata ad un valore quanto più possibile corrispondente alle 6 ampère prescritte e, una volta raggiunta questa condizione, occorre rilevare ed annotare la tensione presente a questo punto tra i capi terminali dell'avvolgimento.

L'intensità del campo magnetico deve essere misurata in gauss con uno strumento adatto a tale funzione (fluxmetro), ottenibile in prestito, magari dalla sede locale della società che gestisce il sistema di fornitura dell'energia elettrica alla località, od anche dal laboratorio di fisica di una vicina scuola tecnica o superiore. Ove lo si desideri poi, il magnete può essere calibrato per una serie di valori accettabili di corrente circolante, di tensione applicata e di intensità del campo prodotta caso per caso.

La cura richiesta nella costruzione di questa camera sarà presto ampiamente compensata dalla convenienza nell'esercizio di questa e dalle prestazioni di cui essa sarà stata capace. Un buon progetto che prevede l'impiego di parti per lo più in lamiera metallica è composto da due compartimenti; quello inferiore dei quali contiene il refrigerante, vale a dire un impasto di ghiaccio secco macinato e mescolato con alcool, e che serve anche da base per il compartimento superiore, fig. 139, il quale costituisce la camera vera e propria dello strumento.



138. Disposizione circuitale per l'eccitazione di un magnete da fare funzionare assieme ad una camera a nebbia.



139. Camera a nebbia a diffusione, adattata per il suo uso con un campo magnetico.

Può essere usata della lastrina di acciaio, ma viene raccomandato il rame, almeno per la superficie che fa da divisorio tra i due compartimenti, a causa della sua maggiore efficienza come conduttore termico.

La sezione superiore della camera, è chiusa da un coperchio che consiste di una coppia di anelli concentrici ed un disco di vetro perfettamente trasparente. Tali anelli hanno la doppia funzione di trattenere il disco di vetro e di sostenere un altro anello isolato di rame che serve da elettrodo per l'applicazione periodica del campo elettrico nell'interno della camera, occorrente per l'eliminazione delle tracce indesiderabili oppure di quelle

già osservate. Tale sistema di anelli accoglie anche il tampone di feltro dal quale evapora lentamente l'alcool quando la camera viene messa in funzione.

In una diversa disposizione la parete della camera può essere foderata con una striscia di carta assorbente avente una estremità immersa, a pescare in una piccola vasca, piena di alcool, al fondo della camera. In queste condizioni l'alcool viene assorbito attraverso la carta, per effetto di capillarità, quindi evapora dalla superficie della carta stessa, dopo di che si condensa di nuovo e per la maggior parte rientra nella vaschetta inferiore, dalla quale riprende il circolo.

La camera può essere sostenuta nello spazio tra le espansioni del magnete, per mezzo di una piattaforma di legno; in questa fase della costruzione dovrebbe poi essere provveduta anche una staffa metallica destinata a sostenere in linea con la finestrella a questa designata, la macchina fotografica per la ripresa delle immagini delle tracce.

Quando si deve preparare il sistema per l'impiego della camera, si tratta di macinare in un mortaio, allo stato di granelli delle dimensioni di un pisello, tanto ghiaccio secco da riuscire a riempire il contenitore sottostante; durante questa operazione, in generale, si eviti però di manipolare il ghiaccio secco con le mani scoperte, in quanto data la sua bassissima temperatura, esso è in grado di produrre delle lesioni comparabili alle più dolorose ustioni.

A questo punto si aggiunge lentamente, al ghiaccio, l'alcool. Mentre questa operazione viene condotta, può determinarsi la produzione di un violento ribollimento sino a quando la temperatura nel contenitore non si sia abbassata ad un valore prossimo a quello del ghiaccio in esso contenuto. A questo punto, si satura il tamponcino con alcool e si versa una cucchiaiata circa dell'alcool stesso, nell'interno della camera; poi si inserisce l'intero sistema nello spazio della espansione del magnete e si dà corrente all'avvolgimento del magnete stesso.

Si potrà notare come, talune delle tracce formatesi nell'interno della camera, presenteranno una sorta di curvatura: se il polo superiore del magnete attrae la punta del nord di una bussola magnetica, indicando così che la direzione del flusso del campo magnetico va dalla espansione inferiore a quella supe-

riore, gli elettroni presenti nell'interno della camera, seguiranno un percorso curvo con direzione contraria a quella delle lancette dell'orologio.

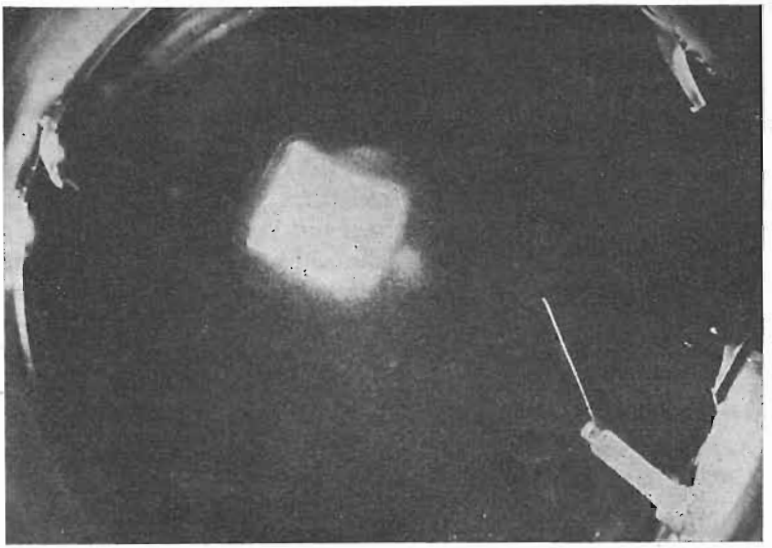
In queste stesse condizioni, invece, le particelle subatomiche relativamente leggere se vettrici di una carica positiva presenteranno nel loro percorso una curva, invece, in direzione oraria; la direzione nella quale talune delle particelle avanzeranno curvando potrà essere determinata con la semplice osservazione.

L'energia che viene spesa nella creazione degli ioni durante il percorso delle particelle, determina la perdita di velocità di queste ultime; per questo, un tempo maggiore sarà via via disponibile per il trasferimento dell'energia restante, in prossimità dell'ultimo tratto del percorso delle particelle stesse.

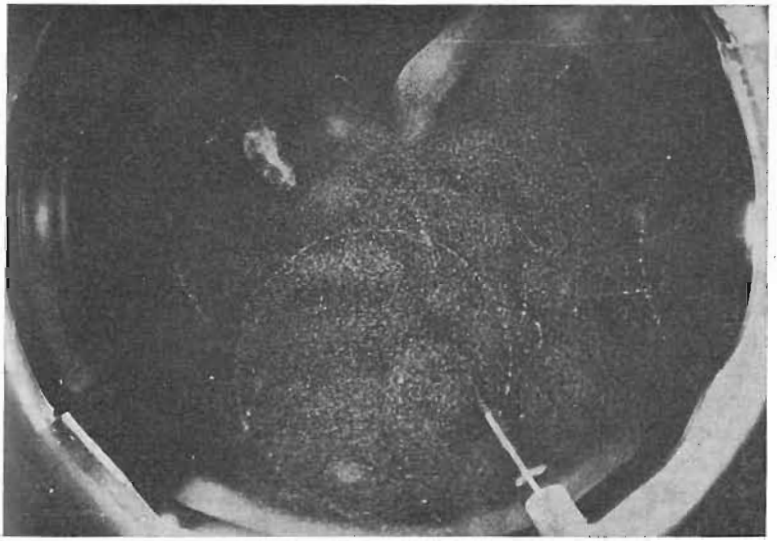
Una forte ionizzazione appare evidente nella camera sotto forma di un ingrossamento del tratto di filamento di vapore. La direzione del percorso è conosciuta naturalmente quando le particelle subatomiche derivano da un piccolo campione di materiale radioattivo volutamente introdotto nella camera. L'identità di alcune delle particelle può anche essere stabilita con l'osservazione dei filamenti determinati dai percorsi di queste.

I raggi alfa hanno percorsi relativamente corti e danno luogo a tracce molto grosse, a causa della loro notevole massa e quindi della loro abilità a produrre grandi quantità di ioni. Gli elettroni ed i protoni danno luogo invece a tracce più sottili e più lunghe. I mesoni sono di solito particelle dotate di energia così elevata che il loro percorso non viene influenzato in modo sensibile dal campo magnetico di 1000 gauss presente nello strumento; per questo, i filamenti prodotti da queste particelle, saranno sottili e relativamente diritti.

È interessante analizzare le fotografie riprese alla camera a nebbia esaminando le varie tracce registrate e cercando di calcolare la velocità, la massa e l'energia delle particelle che hanno determinato ciascuna di queste; la foto allegata, fig. 141, per esempio, mostra il percorso circolare di un elettrone espulso da un pezzetto di filo sulla cui estremità sia stata applicata una minima quantità di materiale radioattivo; prima della ripresa della foto, la corrente di alimentazione dell'elettromagnete era stata regolata in modo da dare luogo ad un campo della intensità di 800 gauss.



140. Traccia di vapore, inclinata verso l'alto all'estremità destra inferiore, di una particella.



141. Fotografia ripresa da Gareth Shaw della traccia circolare lasciata da un elettrone in un campo magnetico di 800 gauss; il complesso è autocostruito.

Il momento di una particella, espresso in unità di « rigidità magnetica », è uguale al raggio del suo percorso, moltiplicato per l'intensità del campo. Il raggio di questo particolare percorso è dell'ordine dei 3,09 centimetri, per questo il momento della particella responsabile della citata traccia circolare è uguale a $3{,}09 \times 800$ ossia 2,472 gauss-centimetri.

A conoscenza di questo valore si può sapere anche la velocità della particella applicando qualche altro piccolo calcolo aritmetico. La quantità che rappresenta la rigidità magnetica della particella viene combinata con la carica dell'elettrone alla sua massa ($1{,}7588 \times 10^7$ unità elettromagnetiche per grammo) e con la velocità della luce (3×10^{10} centimetri al secondo) in accordo con la formula fig. 142. In questo caso la velocità risulta essere di $2{,}47 \times 10^{10}$ centimetri al secondo, il che equivale alla velocità di 247 mila chilometri al secondo, ossia dell'82,4 per cento della velocità della luce.

L'energia immagazzinata nella particella viene trovata, in milioni di elettronvolt; si calcola portando al quadrato il rapporto della velocità della particella rispetto a quella della luce ed inserendo il risultato di questo calcolo nella seconda formula. L'energia di questa particella, per esempio, è risultata di 0,389 milioni di elettronvolt.

Una interessante proprietà della materia può essere osservata calcolando la velocità e l'energia di un consistente numero di elettroni ed inserendo il risultato in un grafico come quello della fig. 143. Da notare come la curva si pieghi bruscamente quando la particella si avvicina alla velocità della luce.

Ciò risulta in accordo con la teoria della relatività secondo la quale viene stabilito che la materia guadagna di massa con l'aumento della velocità e che questa massa diviene verosimilmente infinita quando viene raggiunta la velocità della luce. Ciò significa poi che l'energia cinetica di una particella, comunque piccola questa possa essere, può ugualmente aumentare senza limiti, quando si avvicina alla velocità della luce, a causa del fatto che l'energia cinetica è il prodotto della massa di una particella per la sua velocità.

Un simile grafico può essere tracciato per mostrare come una particella acquisti via via una massa maggiore con l'aumento della velocità. La massa di un elettrone, nelle condizioni di ri-

poso, ossia di immobilità è conosciuta nella misura di $9{,}1 \times 10^{-28}$ grammi e la sua velocità può essere misurata per mezzo della camera di diffusione. Per trovare la sua massa a qualsiasi velocità, questi valori sono inseriti nella equazione di Einstein per la massa relativistica, vale a dire nella terza formula di fig. 142; il resto è semplice calcolo aritmetico.

$$v = Hr \frac{e}{m_0} \sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c}}$$

in cui:

v = velocità elettrone in cm/sec

Hr = rigidità magnetica in gauss-cm

$\frac{e}{m_0}$ = rapporto della carica dell'elettrone con la massa (1.7588×10^7 emu/gm)

c = velocità della luce (3×10^{10} cm/sec)

e = carica dell'elettrone (1.602×10^{-20} emu)

$$T = 0{,}511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

in cui:

T = energia cinetica in milioni di elettroni volta

altri simboli con significato uguale alla formula precedente

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

in cui:

m = aumento della massa della particella in grammi

m_0 = massa della particella allo stato di riposo

altri simboli come in formule precedenti

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{2\,KE}{m_0}}$$

in cui:

v_α = velocità della particella alfa in cm al secondo

KE = energia cinetica della particella alfa in mega-elettroni-volta

m_0 = massa della particella alfa allo stato di riposo

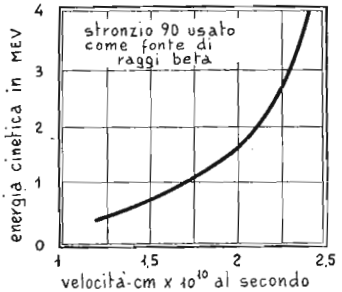
142. Formule per determinare la velocità, l'energia cinetica e la massa delle particelle atomiche fondamentali, nel corso delle osservazioni fatte con la camera a nebbia.

La curvatura imposta dal campo magnetico sulle particelle alfa è alquanto difficile da rilevare con questo apparato, poiché un campo magnetico di 1000 gauss esercita assai poca influenza sulla loro massa, relativamente elevata, in quanto risulta di circa 8000 volte quella di un elettrone.

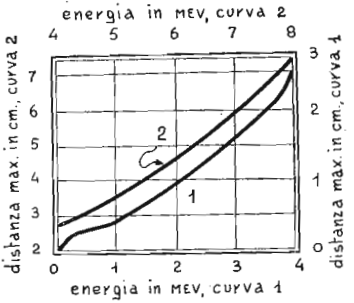
L'energia delle particelle alfa può essere calcolata dall'analisi delle tracce da esse prodotte, poiché la lunghezza delle tracce stesse dipende dal regime al quale le particelle perdono energia nello ionizzare gli atomi vicino a cui passano o che urtano. Sono state tracciate delle curve illustranti questa relazione, partendo da dati ottenuti dalla osservazione di numerosi casi di decadimento di energia di particelle alfa, fig. 144.

Per trovare l'energia di una particella alfa si misura la lunghezza del suo percorso effettivo in centimetri e si riporta questo valore alle curve. Occorre pertanto porre una sufficiente cura nella ripresa e nell'ingrandimento delle foto, dato che delle alterazioni nelle dimensioni delle immagini possono essere facilmente introdotte e queste falserebbero notevolmente i dati necessari per l'esecuzione della ricerca.

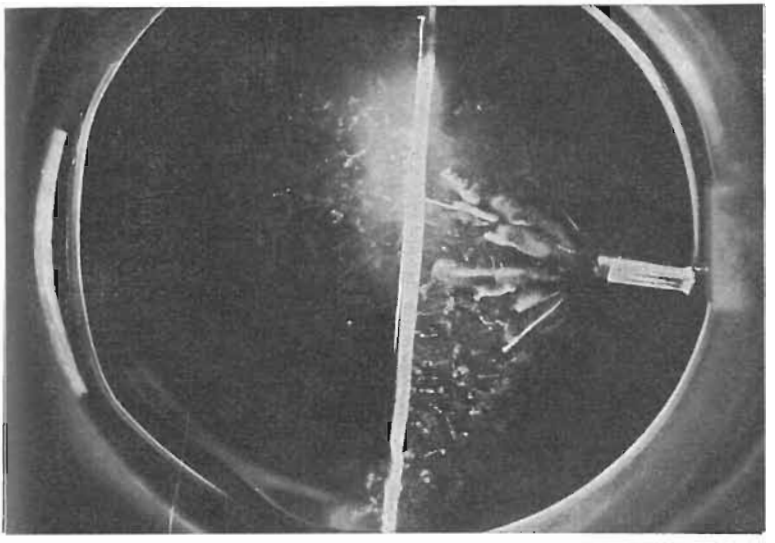
La formula classica per il calcolo dell'energia cinetica ($KE = \frac{1}{2}$ m.V.V.) può essere usata per il calcolo dell'energia delle particelle alfa poiché la loro velocità è così bassa che in questo caso l'effetto relativistico dell'aumento della massa stessa, in funzione della velocità, può essere trascurato. Questa formula esprime l'energia in ergs; per convertire il valore in ergs in



143. Grafico dell'energia contenuta nelle particelle beta.



144. Grafico dell'energia contenuta nelle particelle alfa e del percorso da queste compiuto.



146. Le tracce più grosse indicano le particelle alfa e gli elettroni prodotti dai raggi X e da uno specimen radioattivo, all'estremità destra. Al centro del campo della foto un diaframma di cera per studiare le condizioni di assorbimento.

quello di elettroni volta basta moltiplicarlo per $6{,}25 \times 10^{11}$. La lunghezza della traccia prodotta dalla particella alfa, nella fig. 140, è di 3,1 centimetri, il che in relazione con il grafico corrisponde ad un'energia di 4,65 megaelettronvolt.

Predisponendo la formula classica dell'energia cinetica per il calcolo della velocità ed inserendo il valore di energia cinetica appena trovato, si giungerà a trovare per la particella alfa esaminata una velocità di $1{,}496 \times 10^{9}$ centimetri al secondo, vale a dire un'effettiva velocità di 14,900 chilometri al secondo.

La camera a diffusione suggerisce molti altri interessanti esperimenti. L'aria in essa contenuta può, ad esempio, essere sostituita con altri gas; in generale si troverà la qualità delle tracce filamentose, quando il peso molecolare del gas cade al disotto di quello del vapore. La foto allegata di una particella beta, fig. 141 è stata ripresa in atmosfera di ossigeno.

Le radiazioni gamma ed i raggi X, che sono praticamente della stessa natura oscillatoria, spostano degli elettroni attraverso il gas, le tracce che ne risultano sono pertanto tipicamente casuali ed imprevedibili, v. fig. 145. In questo caso, una sorgente di particelle era stata introdotta nell'interno della camera ed essa è visibile all'angolo destro della figura, assieme con una raggera di tracce di particelle alfa, irradiate dalla stessa sostanza radioattiva.

La striscia bianca che attraversa in posizione pressoché diametrale la camera è una barriera di cera applicata allo scopo di accertare se gli elettroni avrebbero potuto attraversarla.

Le masse più larghe ed irregolari visibili in vicinanza delle tracce determinate dalle particelle alfa sono fiocchi di nebbia derivanti dal disfacimento di tracce lasciate da particelle rilevate in precedenza.

Queste macchie possono comunque essere eliminate applicando per un momento agli elettrodi della camera una differenza di potenziale continua di 45 o 90 volt, e quindi cortocircuitando gli elettrodi stessi, dopo avere distaccato la sorgente della tensione, allo scopo di eliminare la carica che potrebbe essere rimasta su questi.

3

UN SEMPLICE SPETTROMETRO A RISONANZA MAGNETICA

Al centro di ogni atomo vi è una piccolissima trottola, ossia il nucleo, che ruota sul proprio asse ad una velocità incredibile. Sottoponendo gli atomi, e quindi gli elementi che li costituiscono, a campi magnetici incrociati in grado di oscillare, è possibile promuovere od inibire questa rotazione come anche farli vibrare e per questo fenomeno metterli in condizioni di rivelare la propria identità. Viene qui descritto un semplice apparato per una tale serie di esperimenti con il nucleo; il complesso è stato progettato, particolarmente per i dilettanti, da scienziati dell'aeronautica militare statunitense.

Poco tempo dopo la conclusione della seconda guerra mondiale un gruppo di fisici avvolse una bobina di filo conduttore attorno ad un tubo di vetro sigillato, nel quale era stata in precedenza introdotta dell'acqua, quindi introdusse questo complesso tra le espansioni polari di un elettromagnete ed inviò una corrente ad alta frequenza nell'avvolgimento della bobina stessa.

Venne constatato che, quando la frequenza veniva abbassata od elevata entro una gamma critica, la corrente circolante sulla bobina stessa variava in modo molto netto. Ciò si verificava esattamente al punto in cui la frequenza del campo magnetico oscillante determinato dalla bobina entrava in risonanza con i nuclei magnetizzati di idrogeno esistenti nell'acqua. Ulteriori esperimenti mostrarono che anche altri atomi, come anche molecole di varia sostanza, reagivano in maniera analoga, anche se a frequenze diverse. Di interesse ancora maggiore era comunque

la constatazione che la corrente, in queste condizioni, varia in modo specifico ed individuale per ciascuna delle sostanze che vengono sottoposte alla prova.

Nei quindici anni successivi a questi esperimenti relativamente semplici, anche se fondamentali, venne messa a punto la tecnica che ha dato sviluppo ad uno strumento chiamato « spettrometro a risonanza magnetica », che contesta la potenza dello spettroscopio ottico nell'indagine della struttura della materia.

Nel corso dell'applicazione della nuova tecnica all'analisi delle sostanze di origine biologica, un gruppo di ricercatori che lavorava sotto Miles A. McLennan, nella sezione Bioelettronica del Laboratorio Aeromedico al Centro di Sviluppo aereo, aveva progettato una semplice versione dello spettrometro a risonanza magnetica, che i dilettanti possono autocostruirsi e che potrebbe servire non solo come introduzione ad un nuovo, interessante, campo di fisica sperimentale, ma che potrebbe anche rappresentare un progetto da realizzare in occasione di qualche mostra o rassegna scientifica scolastica.

Secondo la classica teoria della fisica, tutte le particelle elementari di materia ruotano come trottole sul loro asse e quelle di esse che possiedono anche una carica elettrica, di qualsiasi polarità, quali elettroni e protoni, presentano anche la caratteristica di creare attorno a sé un campo magnetico. Questa concezione « classica », è stata ormai superata dalla concezione meccanico-quantistica della materia, ma in questa occasione è preferibile accettare quella classica per una maggiore facilità di discussione. Le particelle che sono confinate negli atomi non solo ruotano su se stesse, ma si muovono anche secondo orbite particolari. I campi formati dalle particelle vicine penetrano nella struttura degli atomi o delle molecole e nella direzione nella quale risulta diretta la forza magnetica; questi campi tendono a rinforzarsi a vicenda in qualche caso ed a contrastarsi ed annullarsi in qualche altro. In conseguenza di questo tutti gli atomi sono caratterizzati da individuali schemi di forze magnetiche che si influenzano a vicenda.

Cosa accadrà allora a questi piccolissimi magneti se questi saranno esposti all'influenza da parte di un campo magnetico esterno? Questa era appunto la questione che condusse allo sviluppo della nuova tecnica. Nel caso dei nuclei di idrogeno for-

mati da un solo protone, gli assi normalmente sono puntati in varie direzioni senza alcun ordine. Si potrebbe pertanto supporre che un campo esterno potrebbe determinare la convergenza di tutti gli assi dei singoli protoni, nella direzione delle linee di forza del campo magnetico stesso: questo però non accade. Il campo, invece, determina la precessione dei protoni e la oscillazione di essi come delle trottole il cui asse sia stato inclinato rispetto alla verticale.

Si potrebbe dire che ciascuna particella ha due assi su uno dei quali ruota, oscilla invece sull'altro. L'asse su cui le particelle accelerano si mette in linea con il campo esterno, ma ora si hanno allineamenti anche con gli assi rispetto a cui esse ruotano. Con l'aumento della intensità del campo magnetico esterno, si ha la sola conseguenza di determinare un maggiore anticipo delle particelle.

In effetti, il rapporto di anticipo varia in proporzione alla intensità del campo ed è uguale alla intensità stessa espressa in gauss, moltiplicata per 4,2285. Perciò, quando un campione di acqua viene inserito tra i poli di un tipico magnete ricuperato da apparecchiature belliche, che serviva in origine per la eccitazione di una valvola magnetron, che presenti una potenza magnetica di 1450 gauss, i nuclei di idrogeno tendono ad anticipare al regime di ben 6.131.325 rotazioni ogni secondo.

È però possibile disturbare le particelle (esse possono anche essere addirittura capovolte). Ciò si ottiene creando un secondo campo esterno magnetico situato ad angolo retto rispetto al primo e rendendolo oscillante oppure invertendone la direzione precisamente al passo con il quale le particelle stanno anticipando.

Nel caso dell'acqua in un campo magnetico di 1450 gauss la frequenza che risulta critica è evidentemente quella di 6,1 megacicli al secondo (arrotondamento questo del valore di 6.131.325 cicli al secondo). Dell'energia viene assorbita dalle particelle, prelevandola dal campo oscillante durante ogni alterazione, proprio come accade ad un diapason che viene messo in oscillazione dalle onde sonore alla sua frequenza di risonanza e che preleva appunto dalle onde stesse l'energia che lo mette in vibrazione.

La risonanza tra le particelle ed il campo oscillante può essere stabilita o variando la frequenza della corrente attraverso

la bobina oppure variando la potenza del campo fisso magnetico esterno, che, come è logico, influenza l'entità di anticipo delle particelle. Quando la frequenza del campo oscillante si avvicina a quella di risonanza, le particelle che sono esposte ad esso ne assorbono dell'energia.

Quando poi l'oscillazione si allontana dalla frequenza di risonanza raggiunta, l'energia che le particelle avevano prelevata da essa viene riemessa, in parte, come una vera e propria induzione riflessa nella bobina e, nel restante, distribuita nelle particelle circostanti.

In moltissime sostanze lo scambio dell'energia tra le particelle e la bobina risulta stranamente lento, in paragone alla rapidità che governa di solito la maggior parte dei processi atomici. Talune particelle rispondono immediatamente alle raggiunte condizioni della risonanza, mentre altre richiedono intervalli di tempo che vanno da diversi secondi ad alcuni minuti.

Questa condizione complica il concetto e la realizzazione fondamentale degli spettrometri a risonanza magnetica, poiché i loro circuiti elettrici debbono essere realizzati estremamente stabili e la loro uscita deve essere osservata solo con l'aiuto di dispositivi di registrazione a penna scrivente.

Appare evidente che l'aggiunta di un certo quantitativo di nitrato ferrico all'acqua della fialetta aumenta la suscettibilità delle particelle verso il campo esterno e diminuisce sensibilmente il tempo richiesto per il trasferimento dell'energia, senza influire affatto sul regime di anticipo delle particelle esaminate.

Secondo le affermazioni del gruppo del laboratorio Aeromedico, non è stata ancora avanzata alcuna spiegazione soddisfacente del maccanismo di azione del nitrato ferrico. Può darsi forse che gli ioni ferrici in soluzione diminuiscano la interazione magnetica delle particelle e rendano così queste più suscettibili ad essere influenzate dai campi esterni. Qualunque ne sia la spiegazione, il fatto è che il nitrato di ferro dissolto in acqua rende possibile la dimostrazione, con un'apparecchiatura relativamente semplice del fenomeno della risonanza magnetica.

L'esperimento si basa sulla inserzione di una provetta contenente la soluzione acquosa di nitrato ferrico nel campo pulsante di un magnete di magnetron e nella osservazione a mezzo di un oscilloscopio del trasferimento della energia tra il cam-

pione in esame ed una bobina situata attorno alla provetta, eccitata da un oscillatore a tubi elettronici.

L'energia assorbita durante un'unica sollecitazione delle particelle è ancora troppo piccola per potere essere rilevata mediante dispositivi elettronici convenzionali di segnalazione; per questo, in tale esperimento, la frequenza è portata in risonanza e fuori risonanza 50 o 60 volte ogni secondo.

La frequenza dell'oscillatore a valvole viene mantenuta costante mentre viene variato il regime di anticipo mediante la modulazione del campo polarizzante del magnete di magnetron. Questa condizione viene ottenuta applicando una seconda bobina eccitata da una alternata a 50 o 60 periodi al secondo, tra i poli del magnete di magnetron, il flusso di questa bobina modulante accentua ed attenua alternativamente quello fisso del magnete; il regime di anticipo varia pertanto in proporzione.

L'oscillatore a valvola è munito di due comandi, uno per la regolazione della frequenza prodotta al regime medio al quale si nota l'anticipo degli assi dei protoni, e l'altro per la regolazione del quantitativo di energia rinviata indietro, dal circuito di placca a quello di griglia, ossia l'entità del cosiddetto effetto di reazione nella valvola oscillante.

Questo controllo regola l'intensità alla quale il tubo stesso oscilla: con questo elemento il circuito viene messo in oscillazione e la sua oscillazione può essere estinta e possono perfino essere create nel tubo stesso le condizioni in cui questo si trovi immediatamente sul punto di entrare in oscillazione, in una sorta di equilibrio instabile.

La bobina modulante è avvolta lasciando uno spazio nel suo centro, per consentire la inserzione della provetta, inoltre la bobina va disposta in modo che il suo asse risulti concentrico con il campo di polarizzazione fisso, v. fig. 146.

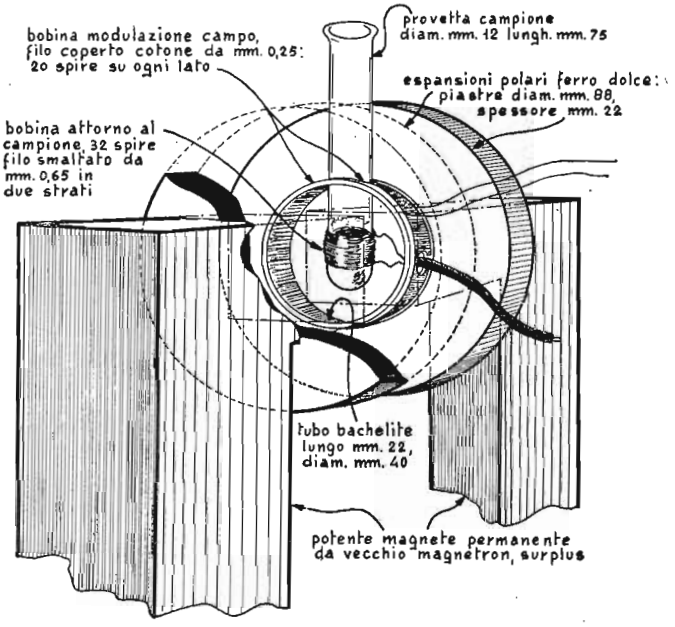
Una volta che il campione da esaminare è stato messo al suo posto, si mette in funzione l'oscillatore e la sua frequenza viene regolata in modo che risulti quanto più possibile vicina ai 6,1 megacicli, frequenza che come si ricorderà è quella media alla quale i protoni anticipano. Il comando della reazione dell'oscillatore viene regolato in modo che l'oscillazione stessa sia appena sostenuta e risulti molto debole.

A questo punto critico, la corrente che scorre nel circuito

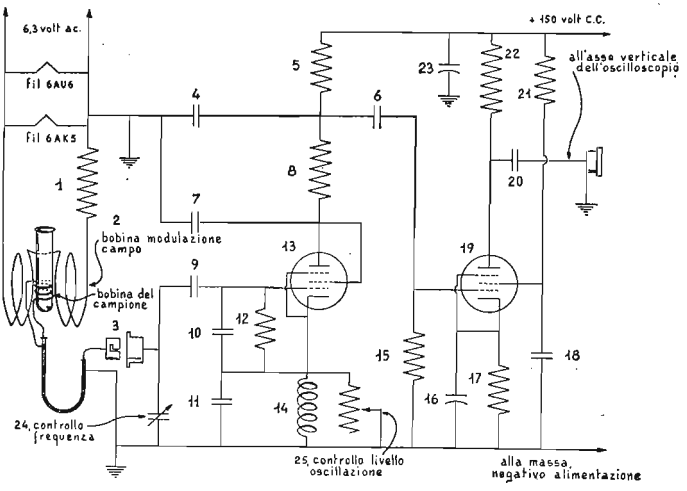
di placca della valvola oscillatrice risulta altamente responsabile delle variazioni dell'energia che si verifichino nella bobina situata attorno alla provetta.

L'ampiezza della corrente di placca viene osservata collegando il circuito di placca stesso ai terminali interessati alla deflessione verticale di un oscillografo nelle condizioni indicate nello schema completo della fig. 147.

Un punto di luce apparirà sullo schermo, indicando che una quantità fissa di corrente di placca sta circolando. A questo punto viene allora eccitata la bobina di modulazione del magnete di polarizzazione. Se la frequenza dell'oscillatore è stata regolata al valore medio del regime di anticipo, il punto luminoso si espanderà assumendo piuttosto la fisionomia di una linea verticale, indicando che il circuito di placca sta rispondendo all'energia che viene trasferita tra la bobina e le particelle eccitate.



146. Complesso del magnete e dello specimen in esame, in uno spettrometro a risonanza magnetica.



147. Schema elettrico dello spettrometro a risonanza magnetica.
Elenco parti: 1 - 75 ohm 1 w. 4 - 6800 pF, 200 v. 5 - 200.000 ohm 1/2 w. 6 - 2000 pF, 200 v. 7 - 10.000 pF 200 v. 8 - 22.000 pF 1/2 w. 9 - 180 pF, mica. 10 - 20 pF, mica. 11 - 20 pF, mica. 12 - 510.000 ohm 1/4 w. 13 - valv 6AK5. 14 - imped 2,5 millihenries. 15 - 510.000 ohm, 1/4 w. 16 - 10 mF, 50 v. 17 - 510 ohm, 2 w. 18 - 0,1 mF, 200 v. 19 - valv 6AU6. 20 - 20.000 pF, 200 v. 21 - 220.000 ohm, 2 w. 22 - 100.00 ohm, 1 w. - 23 - 8 mF. 24 - 9-140 pF, ad aria. 25 - 5000, 1/2 w.

L'esperienza può essere resa ancora più interessante collegando gli elettrodi di deflessione orizzontale dell'oscilloscopio con una linea di alimentazione a 50 o 60 periodi, alternata, quale è quella della normale rete di illuminazione che serve dal resto anche alla eccitazione della bobina modulante. Nella fig. 148 sono illustrati dei tipici oscillogrammi di risonanza magnetica.

Nell'apparato progettato al laboratorio Aeromedico, il campo di polarizzazione magnetica viene fornito da un magnete da magnetron tipo 220A 150, residuato bellico; ad ogni modo qualsiasi magnete di analoga dimensione, forma e potenza (ossia del valore, di 1450 gauss), può funzionare in maniera uguale. I dischi o piastre che servono da espansioni polari debbono essere abbastanza grandi ed abbastanza spaziati da potere accogliere le parti accessorie che vi debbono essere inserite e fissate.

Anche un elettromagnete può andare bene in queste con-

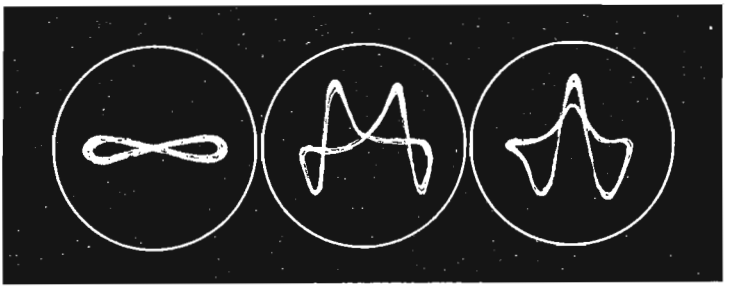
dizioni, a patto che esso sia eccitato da una corrente continua rigorosamente stabilizzata. Le espansioni polari del magnete originario sono state costituite con dischi di ferro dolce del diametro di 88 ed uno spessore di 22 millimetri in modo da creare un campo uniforme in tutta la zona in cui questo interessa. Perché la risposta all'esperienza sia massima, occorre che tutti i protoni presentino il fenomeno dell'anticipo, secondo lo stesso regime, il che significa che tutti i protoni in questione debbono essere sollecitati in modo uniforme dal campo di polarizzazione modulato. La intensità del campo varierà con la distanza esistente tra le due espansioni polari, le quali dovranno anche essere perfettamente parallele ed esenti da irregolarità superficiali che tenderebbero a distorcere, almeno in parte, le linee del campo presente tra di esse.

Di solito, i magneti residuati e ricuperati da valvole magnetron del tipo a catodo radiale, presentano un piccolo punto bianco sulla base che fornisce un approssimato valore in gauss della intensità di campo che si può attendere nello spazio esistente tra le espansioni polari.

Il magnete usato nello strumento costruito nel laboratorio Aeromedico è tarato ad una intensità di 1450 gauss; esso era stato modulato da una bobina che consisteva di venti spire di filo da avvolgimenti della sezione di 0,25 millimetri sotto copertura di cotone avvolte su di uno spezzone di tubo di bachelite della lunghezza di 22 millimetri e del diametro esterno di 40 millimetri. La bobina in particolare è realizzata in due parti, in modo che dieci spire di essa siano avvolte su ciascuna estremità del tubo, e viene posta una notevole attenzione in modo che le due semibobine siano avvolte sicuramente nella stessa direzione. Nella zona centrale della lunghezza del tubo, lasciata libera dalle due semibobine, viene eseguito un foro del diametro di 15 millimetri destinato ad accogliere la provetta contenente il materiale in prova.

Un secondo foro, del diametro di 10 millimetri eseguito ad angolo retto con il primo, ugualmente nel tubo, per consentire l'arrivo nello spazio interno al tubo del cavo coassiale destinato a convogliare alla bobina avvolta attorno alla provetta l'oscillazione prodotta dall'oscillatore a radiofrequenza.

La bobina modulante è eccitata dal trasformatore che ali-



148. Oscillogrammi della risonanza magnetica nucleare. *A sinistra*, assenza di risonanza. *Al centro*, picchi di risonanza fuori fase. *A destra*, picco centrale di risonanza in fase.

menta anche i filamenti delle valvole dell'oscillatore: la sua presenza determina delle variazioni di circa 50 gauss in più ed in meno del flusso fondamentale a 1450 gauss, con una frequenza di 50 cicli al secondo.

La provetta ha un diametro di 12 ed un'altezza di 75 millimetri: su di essa viene avvolta una bobina in filo smaltato di rame da 0,65 millimetri composta da due strati uguali di 16 spire ciascuno; tale avvolgimento a spire affiancate deve essere fatto sulla porzione diritta della provetta, alla massima vicinanza della estremità inferiore di quest'ultima. La provetta e la bobina attorno ad essa sono montate in posizione verticale, nello spessore di tubo di bachelite sul quale è avvolta la bobina modulante.

La costruzione del circuito elettrico e meccanico è convenzionale: l'oscillatore è progettato in vista dell'impiego di una valvola pentodo, tipo 6AK5. A patto che si faccia uso di un oscilloscopio di sensibilità abbastanza elevata, l'energia di uscita dell'oscillatore può essere prelevata dalla giunzione esistente tra la resistenza da 200.000 ohm e quella da 22000 ohm, esistenti nel circuito di placca della valvola.

Quando si faccia uso di oscilloscopi di minore sensibilità, quale il modello 0-10 della Heathkit, occorre aggiungere al circuito stesso un ulteriore stadio di amplificazione servito da una valvola 6AU6 nella disposizione illustrata nello schema. Un

condensatore variabile quale il modello MC-140-M della Hammarlund, o qualcosa di simile, viene usato per la regolazione della frequenza prodotta dall'oscillatore.

I vari componenti dell'apparecchio sono messi insieme su di un telatio di alluminio delle dimensioni di 75 millimetri di altezza, 125 di larghezza e 150 di lunghezza. Le connessioni di entrata ed uscita all'apparecchio vengono fatte usando del cavo coassiale GR 58/U munito di terminali maschio e femmina UG 290/U ed UG 88/U.

La soluzione di prova viene preparata dissolvendo 4 decigrammi di nitrato ferrico in 100 cubici di acqua distillata. Due cubici di questa soluzione vengono poi versati nella provetta e quindi inseriti, con la provetta stessa, nel campo di eccitazione dell'apparecchio. A questo punto si può dare corrente all' insieme: per prima cosa si provvede ad ottenere il sincronismo del circuito di scansione orizzontale dell'oscilloscopio con la tensione modulatrice alla frequenza di 50 cicli al secondo, al che deve apparire sullo schermo oscillografico una figura caratteristica, che potrebbe assomigliare ad una sorta di « 8 », analogo a quello visibile nel primo particolare della fig. 148. Un tale segno indica che la frequenza della bobina dell'oscillatore risulta al difuori della gamma nella quale le particelle possono essere messe in anticipo ed allora non si riesce a stabilire una sorta di risonanza necessaria per il funzionamento dell'apparato.

Quando si manovra l'apparato alla ricerca della risonanza, si tratta di predisporre il condensatore dell'oscillatore nella posizione della massima capacità, vale a dire con tutte le piastre mobili inserite in quelle fisse allo scopo di avere l'oscillazione della minima possibile frequenza e quindi di regolare il comando di intensità, ossia di reazione, al punto in cui l'oscillatore sia appena sul punto di smettere di oscillare.

A questo punto si aumenta leggermente la frequenza, mentre si osserva continuamente l'oscilloscopio; nel corso di questa fase, può essere necessario il ritocco della regolazione del comando di reazione, per mantenere sempre l'oscillatore sul punto in cui le oscillazioni siano appena innescate.

La procedura può essere semplificata con l'aiuto di un radioricevitore ad onde corte: se questo è munito di dispositivo per la ricezione delle onde persistenti non modulate, ossia dispone del-

l'oscillatore per il battimento di nota, il segnale dell'oscillatore dell'apparato potrà essere udito sotto forma di un fischio molto alto. In caso contrario potrà aversi un rumore frusciante, magari accompagnato da un ronzio, determinato dalla presenza del segnale di alternata a 50 periodi.

Il ricevitore è particolarmente utile per controllare il punto nel quale l'oscillatore smette di oscillare, quando si sta regolando il comando della reazione. Se il ricevitore è calibrato, lo si può a sua volta usare per calibrare l'oscillatore; ove comunque l'apparecchio non disponga di una taratura abbastanza precisa sarà sempre possibile eseguire su di esso una calibrazione, traendo vantaggio dai molti segnali che sono irradiati dalle stazioni Statunitensi della rete WWV.

Una volta che le condizioni di risonanza siano state raggiunte, la figura comparsa sullo schermo dell'oscillografo sarà simile a quella che si può vedere nel particolare di centro della fig. 148. Di solito appaiono due picchi che risultano collegati al fondo per mezzo di occhielli: ciò sta ad indicare uno spostamento, ossia una differenza di fase nel tempo al quale i segnali giungono alle placche orizzontali e verticali dell'oscilloscopio.

L'oscillografo modello 0-10 della Heathkit è munito con un interruttore per deflessione di linea e di un controllo di fase per variare la figura formatasi sullo schermo. Quando questi organi sono stati regolati opportunamente i picchi coincideranno e la immagine assumerà piuttosto la fisionomia visibile nel particolare a destra della fig. 148.

Cosa significa quella figura che si forma sullo schermo? L'altezza della figura stessa è proporzionale al numero dei protoni risonanti con l'oscillatore; la sua larghezza, alla gamma entro la quale le particelle presentano la caratteristica di anticipare. In conseguenza di ciò se tutte le particelle riuscissero ad entrare in precessione nella stessa misura e tutte si invertissero precisamente al momento della risonanza con l'oscillatore, la figura sullo schermo rassomiglierebbe molto probabilmente a quella di una « T » capovolta. In tali condizioni si potrebbe affermare che lo spettrometro possiede un potere di risoluzione perfetto; evidentemente, invece, non tutte le particelle in esame in questo strumento sono messe in condizione di anticipo alla stessa frequenza.

Parte della spiegazione del fenomeno si nasconde nell'interazione delle forze magnetiche esistenti nel campione in prova. I campi di protoni vicini si sommano in una maniera tale per cui alcune particelle sono schermate dall'influenza che potrebbe avere su di loro il campo magnetico esterno. In questo strumento, però, la larghezza dei picchi presenti nella figura si può spiegare in massima misura con le variazioni che si verificano nella sezione trasversale, nel campo magnetico fisso di polarizzazione. Le particelle situate in regioni in cui il campo è più forte presentano un anticipo ad un regime più elevato di quelle situate in regioni in cui il campo stesso sia relativamente debole.

Queste differenze sono conservate quando il campo costante di polarizzazione prodotto dal magnete viene modulato; talune particelle sono spostate in risonanza con l'oscillatore più presto di altre della stessa natura e da questo deriva una ulteriore, proporzionale, dilatazione del picco presente nella figura all'oscillografo. La larghezza del picco illustrato nelle figure oscillografiche si riferisce ad una incostanza del campo, di circa 20 gauss il che significa una differenza di circa 85.000 rotazioni al secondo, nel regime di anticipo esistente fra le particelle più lente e quelle più veloci.

Con uno strumento ad elevato potere risolutivo, molte sostanze presentano diversi picchi sottili, che sono dovuti alla complessa interazione magnetica esistente tra i sistemi di particelle e la conseguente schermatura di queste rispetto al campo magnetico di polarizzazione. Molte sostanze non sono sensibili ad un campo magnetico esterno perché il campo magnetico determinatosi per la loro stessa rotazione, secondo quanto è stato detto in precedenza, è talmente forte che cancella quello esterno. Quelle sostanze che sono invece in grado di rispondere alla sollecitazione da parte del campo esterno possono essere identificate dalle figure caratteristiche che si determinano in condizioni standard, sullo schermo, quando queste sono esposte all'azione combinata dei campi nell'apparecchio.

Il potere risolutivo dell'apparato qui descritto non è abbastanza spinto per consentire un lavoro di ricerca spettroscopica molto specializzata; come è stato indicato più sopra, esso è destinato piuttosto a servire come pezzo dimostrativo per l'effetto della risonanza magnetica sugli atomi delle varie sostanze.

Eventuali possibili modifiche destinate a permettere un uso pratico, sia pur limitato, dell'apparecchio, comporterebbero la installazione di espansioni polari di maggiore superficie, sul magnete permanente del magnetron, allo scopo di dare luogo alla creazione di un campo magnetico più uniforme. A differenza della larghezza dei picchi, nella misura di 20 gauss presentata dal presente apparato, i migliori strumenti oggi realizzati presentano una precisione dell'ordine di pochi decimillesimi di gauss. Ciò significa che le irregolarità nel campo di polarizzazione costante debbono essere mantenute bene al disotto di questo valore. Un elevato potere di risoluzione richiede anche un preciso e tarato controllo della intensità, ossia della reazione, dell'oscillatore come anche della frequenza di esso e dell'ampiezza del campo modulante della polarizzazione. In questa dimostrazione l'elevato regime di modulazione che ha appunto una frequenza di 50 cicli al secondo è reso possibile in quanto l'esperimento è stato limitato ad una soluzione di prova di nitrato ferrico. Poche sostanze sono infatti altrettanto sensibili come questa.

Incidentalmente lo spettrometro a risonanza magnetica può anche essere usato per la misurazione della potenza e della forza coercitiva dei magneti; il magnete da provare viene infatti utilizzato per fornire il campo di polarizzazione fissa, che viene poi modulata nella maniera già descritta nel corso del capitolo con il segnale a 50 periodi; quindi l'oscillatore viene messo in funzione e regolato sino a quando abbia raggiunto le condizioni di risonanza. In queste condizioni, la forza in gauss del campo magnetico o del magnete in esame si trova dividendo per 4,228.5 la frequenza dell'oscillatore quando esso si trova alla perfetta risonanza.

4

DISINTEGRATORE DI ATOMI AUTOCOSTRUITO

Con una spesa inferiore a quella dell'acquisto di un'attrezzatura media per la pesca, è possibile creare una attrezzatura sufficiente per un altro hobby, quale è quello della sperimentazione in elettronica. Con un tale apparato è possibile trasmutare gli elementi, alterare le proprietà fisiche di alcuni materiali comuni e tra l'altro apprendere direttamente, ossia in modo assai più efficace che dallo studio di libri, molte notizie in relazione alla struttura della materia. F. B. Lee, ingegnere chimico dell'Istituto Tecnico della Contea Erie, in Bufflo, N.Y., spiega come costruire e mettere in funzione l'apparecchio; sono anche fornite, più avanti alcune raccomandazioni aventi particolare interesse, per la sicurezza delle persone che operino attorno all'apparecchio.

L'acceleratore di particelle, conosciuto più comunemente come « disintegratore di atomi », si trova rispetto alla fisica nucleare nello stesso rapporto in cui si trova un telescopio, rispetto all'astronomia: l'acceleratore esplora il microcosmo come il telescopio esplora il macrocosmo.

A somiglianza del telescopio anche l'acceleratore può aprire appassionanti orizzonti, per il dilettante; diversamente dallo strumento ottico però, l'acceleratore non è riuscito a richiamare l'interesse di un gran numero di dilettanti.

Il concetto di partenza è forse quello secondo cui un piccolo acceleratore di particelle sia qualche cosa poco al disopra di un vero giocattolo. Eppure, nel 1932, i fisici britannici J. D. Cockroft ed E. T. S. Walton eseguirono degli importanti lavori pionieristici nel campo della fisica nucleare usando un semplice accele-

ratore elettrostatico di particelle a 150.000 volt, che può anche oggi essere realizzato per una spesa inferiore alle 50.000 lire.

Con un tale apparecchio, Cockroft e Walton riuscirono nella trasmutazione del litio in un isotopo instabile del berillio che, a sua volta, degradò in elio, stabile, con emissione di particelle di energia, ad un livello di 17 milioni di elettronvolts, prestazione questa davvero non sospettabile in un giocattolo. Un fascio di particelle emesse da una macchina di queste proporzioni è in grado di ridurre notevolmente il tempo di svolgimento di alcune reazioni chimiche, di indurre delle mutazioni negli organismi viventi, di alterare le proprietà fisiche di alcuni composti organici e di produrre numerosi altri interessantissimi effetti.

Il fascio emesso dalla macchina di cui viene fornita qui appresso la descrizione, viene portato fuori dall'apparecchio per usarlo per irradiare dei bersagli di un'area piuttosto estesa, all'aria aperta. L'energia contenuta nelle particelle si distribuisce quindi su di una zona relativamente ampia. Di solito il fisico richiede un fascio più strettamente concentrato nel quale le particelle abbiano tutte una energia pressoché uguale, mentre i chimici risultano invece soddisfatti da un fascio più diffuso, nel quale l'energia delle particelle può variare anche considerevolmente.

Dal momento che i bersagli che i chimici desiderano irradiare sono di solito piuttosto spessi, è quasi impossibile somministrare a tutte le sezioni dei campioni elettronici aventi una uniforme energia anche se questa condizione sarebbe desiderabile. Per fortuna è di solito sufficiente avere a disposizione una percentuale abbastanza larga di elettroni che attraversano completamente il bersaglio.

Gli ioni prodotti nell'interno del bersaglio sono marcatamente indipendenti dall'energia del fascio che li ha determinati, ma lo spessore massimo del materiale da colpire e da trattare varia con la tensione di accelerazione usata sulle particelle. Degli elettroni accelerati ad esempio con una differenza di potenziale di 250.000 volt potranno penetrare nell'alluminio, ad una profondità massima di 0,25 millimetri, nelle stesse condizioni potranno essere raggiunte profondità di 3 millimetri circa, nel polietilene e di addirittura 2 metri nell'aria, quando si lasci il fascio libero di attraversarla senza interporre sul suo percorso alcun mate-

riale atto ad intercettarli. Sia pure approssimativamente, la profondità della penetrazione è inversamente proporzionale alla densità del materiale di cui il bersaglio colpito è costituito ed al quadrato del peso atomico della sostanza che lo costituisce (ove tale bersaglio sia composto da più elementi, è da introdurre nel calcolo il valore del peso atomico più elevato tra tutti quelli degli elementi presenti).

Con la macchina che verrà descritta più avanti, i dilettanti possono eseguire un numero illimitato di esperimenti basati specialmente sulla ionizzazione dei materiali di cui sono fatti i bersagli colpiti dagli elettroni. Nel caso di bersagli rappresentati da idrocarburi, numerosi atomi di idrogeno saranno spostati dalla loro posizione naturale, nelle molecole, dal fascio delle particelle animate da maggiore velocità. Taluni di tali atomi tendono a combinarsi prontamente e formare delle molecole di idrogeno (H_2) e sfuggono dal campione sotto forma di gas. Nelle stesse condizioni tendono a distaccarsi anche coppie di atomi di carbonio che poi si combinano agli elementi trasversali di collegamento esistenti nelle molecole degli idrocarburi.

Tali collegamenti incrociati hanno un profondo effetto sulle proprietà fisiche delle sostanze che sono state irradiate e nelle quali tale mutazione sia appunto avvenuta; quando le molecole di materie termoplastiche, quale ad esempio il polietilene, sono colpite dalle radiazioni, nell'interno di queste si determinano questi speciali legami incrociati dalla cui presenza le materie stesse risultano maggiormente resistenti alle sollecitazioni meccaniche dirette ed alla temperatura; è facile intuire come questo campo di ricerca sia pieno di promettenti occasioni per i dilettanti, prima ancora di una qualche scoperta determinante, o di qualche interessante applicazione pratica.

L'acceleratore elettrostatico può considerarsi come una valvola elettronica ad alto perfezionamento, ma costituita da due soli elementi; esso consiste, infatti, di un tubo nel quale viene fatto il vuoto e nel quale ad una estremità risulta inserita una sorgente di elettroni o di protoni, mentre all'altra estremità è installato un elettrodo acceleratore; una elevata differenza di potenziale a corrente continua viene stabilita, poi, tra i due elettrodi. Se l'elettrodo accelerante viene reso positivo e si usa come sorgente di particelle un filamento di lampada o di valvola, od

un campione radioattivo od ancora, una superficie fotoelettrica o perfino una semplice punta molto acuminata di metallo, il fascio risultante sarà composto di elettroni.

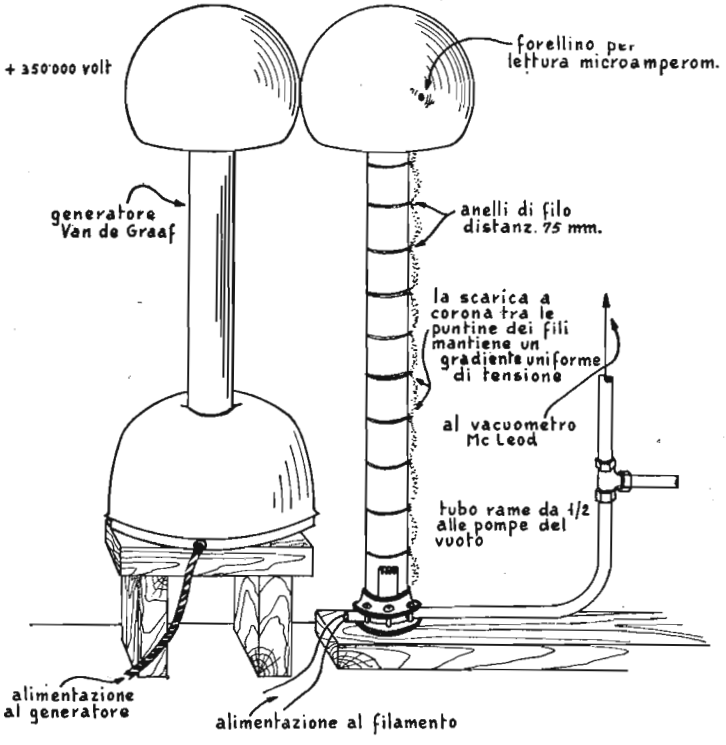
Se invece l'elettrodo accelerante sarà reso negativo, e nell'interno del tubo sarà consentito l'accesso a piccole quantità di idrogeno, allora sarà questo gas ad ionizzarsi ed il fascio sarà costituito da nuclei di idrogeno, vale a dire appunto di protoni.

Le principali esigenze nella costruzione di un acceleratore lineare di particelle sono rappresentate da una fonte di alta tensione continua, ed un sistema di vuoto, ossia di pompe in grado di ridurre la pressione atmosferica, dal valore iniziale di 760 millimetri di mercurio, a valori dell'ordine di un solo centomillesimo di millimetro, ugualmente in una colonna di mercurio.

La tensione elevata può essere prodotta da una macchina Van de Graaff, del tipo di quelle descritte nella sezione 9ª. Una macchina generatrice di questo tipo in grado di produrre una corrente di 20 microampère sotto un potenziale di 500.000 volt, può essere costruita secondo le istruzioni, con una spesa inferiore alle 15.000 lire. Il tubo per l'acceleratore del prototipo è stato realizzato a partire da un ritaglio di tubo di vetro Pyrex del diametro di 50 e della lunghezza di 900 millimetri; una dimensione di 600 millimetri sarebbe forse stata quella da preferire, ma queste dimensioni non sono molto critiche. Come base comune per l'apparecchio acceleratore vero e proprio e per i sistemi di pompaggio serve un'assicella di legno ben secco e compatto, dello spessore di 50 millimetri e delle dimensioni di 200×1600 millimetri.

Il tubo dell'acceleratore viene montato in posizione rigorosamente verticale, in prossimità di una delle estremità dell'asse, nel modo illustrato nella fig. 149. Il gruppo del catodo, che chiude l'estremità inferiore del tubo è stato, per il prototipo, realizzato a partire da un pezzo di barra di ottone del diametro di 63 e dello spessore di 25 millimetri.

Un foro è stato aperto in una parete del blocco, per accogliere la terminazione del tubo di rame da 12 millimetri che serve a collegare l'apparecchio alle pompe di svuotamento. Un altro foro nel quale viene inserita la filettatura di un tubo da 200 millimetri accoglie un elemento standard di tenuta a com-



149. Acceleratore elettrostatico di particelle, alimentato da un generatore di Van de Graaff.

pressione da 6 millimetri che serve da passaggio per le connessioni al complesso del filamento.

Il complesso del filamento comprende una barra di gomma della sezione di 6 millimetri della lunghezza di circa 25 millimetri attraverso la quale sono fatti passare due spezzoni di filo di rame smaltato della sezione di 1 millimetro aventi la funzione di sostenere nell'interno del tubo in posizione conveniente il pezzo di filo di nichelcromo della sezione di 0,25 e della lunghezza di 12 millimetri.

I due conduttori di rame sono stati coperti di grasso ermetico non grafitato, prima di essere inseriti nei fori rispettivi allo

scopo di assicurare nei limiti del possibile la tenuta ermetica. Anche la barra di gomma è stata per la stessa ragione coperta di grasso della stessa qualità e quindi inserita nella guarnizione a compressione passante attraverso il foro fatto nell'elemento di ottone, dopo l'applicazione su di essa di un altro collare di tubo di gomma a diametro appena sufficiente per potere accogliere con precisione la barra stessa. A questo punto il coperchio del premistoppa è stato applicato ed avvitato a fondo per assicurare la tenuta ermetica.

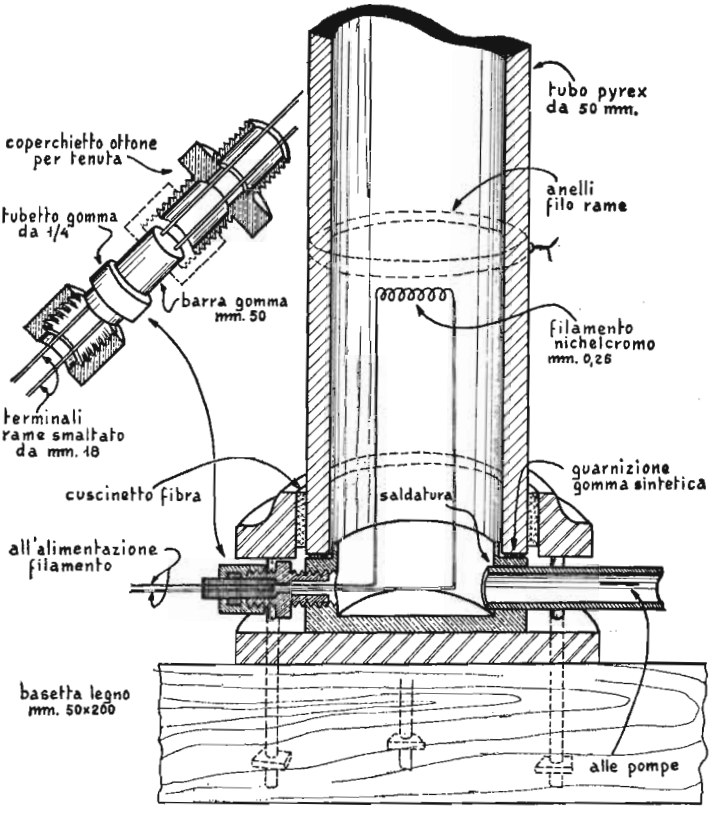
Nella fig. 150 sono forniti ulteriori dettagli della sezione inferiore dell'apparecchio, ripresa a distanza ravvicinata; l'intero complesso è a tenuta ermetica di aria ottenuta con la disposizione visibile dalla figura citata ed, una volta messo a punto, non dà in genere alcun inconveniente, né pone problemi di mantenimento.

Quando sia fatto funzionare con una macchina Van de Graaff del tipo suggerito, nel tubo viene a determinarsi una corrente dell'ordine dei 10-20 microampère ed il filamento viene fatto funzionare ad una temperatura relativamente bassa; ad ogni modo, il valore ottimo di questa temperatura è bene sia stabilito con una serie di prove.

Detta temperatura viene controllata con un reostato collegato in serie con il filamento e con la sorgente di bassa tensione incaricata di alimentarlo e che può essere rappresntata da un semplice trasformatore per campanelli, della potenza di una diecina di watt.

Quando la temperatura è troppo elevata si ha una eccessiva emissione che abbassa la resistenza del tubo, per conseguenza la corrente assorbita nell'interno del tubo aumenta ed in definitiva, aumenta la tensione presente ai suoi capi, fornitagli dalla macchina Van de Graaff; una bassa tensione presente nel tubo, a sua volta, dà luogo alla produzione di un fascio di elettroni di bassa energia cinetica.

Al contrario, una bassa temperatura di lavoro del filamento ha, come conseguenza, quella di una bassa emissione di elettroni da questo e quindi dà luogo ad un aumento della resistenza interna del tubo. In tali condizioni il tubo ha ai suoi capi la massima tensione e da questo deriva che un'energia proporzionatamente più elevata viene impartita alle particelle che



150. Complesso del filamento e della chiusura di base in un tubo acceleratore ad effetto elettrostatico.

compongono il fascio di elettroni. Questo riesce a compensare, in una certa misura, l'inconveniente della minore corrente del fascio elettronico. Per questa ragione, una diminuzione della temperatura del filamento, rispetto al suo valore ottimo, è da preferire rispetto ad un aumento di questa.

Il fascio elettronico è confinato lungo la zona centrale del tubo, corrispondente all'asse di questo, a causa della presenza di un campo elettrostatico simmetrico creato lungo il tubo da una serie di anelli distribuiti appunto a distanze di 75 millime-

tri uno dall'altro. Tali anelli consistono ciascuno di quattro spire avvolte con filo di rame scoperto della sezione di 0,4 millimetri.

L'inizio e la fine di ognuno di questi avvolgimenti sono ritorti insieme, dopo che i terminali siano stati alquanto tesi per trattenere le spire aderenti al tubo; una porzione di ciascuno dei terminali è però lasciata, al momento di tagliare i conduttori, e questi vanno divaricati sino ad una distanza di 12 millimetri.

Le punte così formate in corrispondenza di ciascuno degli anelli servono da elettrodi per un effetto corona e prelevano appunto una porzione di carica dall'aria circostante, sino a quando non viene stabilito un equilibrio elettrico tra gli anelli e l'aria stessa. In tubi di dimensioni maggiori, il sistema dell'effetto corona viene sostituito dall'applicazione di una serie di resistenze sulla successione degli anelli; una tale complicazione non è comunque di solito necessaria quando si opera con apparecchi eccitati da tensioni dell'ordine dei 500.000 volt, o meno.

L'estremità superiore dell'acceleratore è stata chiusa da una finestrella di foglia di alluminio, attraverso la quale il fascetto prodotto poteva passare dall'interno nell'aria esterna. Per evitare però che tale finestrella, delicata per la sottigliezza della foglia, risultasse perforata dalla pressione atmosferica, elevatissima rispetto all'atmosfera rarefatta che regna nell'interno dell'apparecchio, era opportuno sostenere la foglia stessa con una griglia di alluminio realizzata da una piastrina di alluminio da 6 millimetri, nella quale sono stati eseguiti 37 fori su di un diametro di 5 millimetri disposti secondo una figura esagonale, come quella illustrata nel particolare a sinistra della fig. 151; in tali condizioni il 50% circa dell'area della finestrella risulta libero e quindi facilmente attraversabile dal fascio di elettroni. Questa griglia è stata quindi fissata all'estremità superiore del tubo, ancorandola con cera plastica da guarnizioni per apparecchi a vuoto.

Il rettangolo di foglio di alluminio, di spessore non superiore a 2,5 centesimi di millimetro, era poi applicato sulla faccia esterna di questa griglia con altra cera dello stesso tipo.

Le apparecchiature interessate a delle pressioni molto basse prevedono l'impiego come materiale da stuccatura e da guarnizione di cere speciali che presentano una pressione di vapore

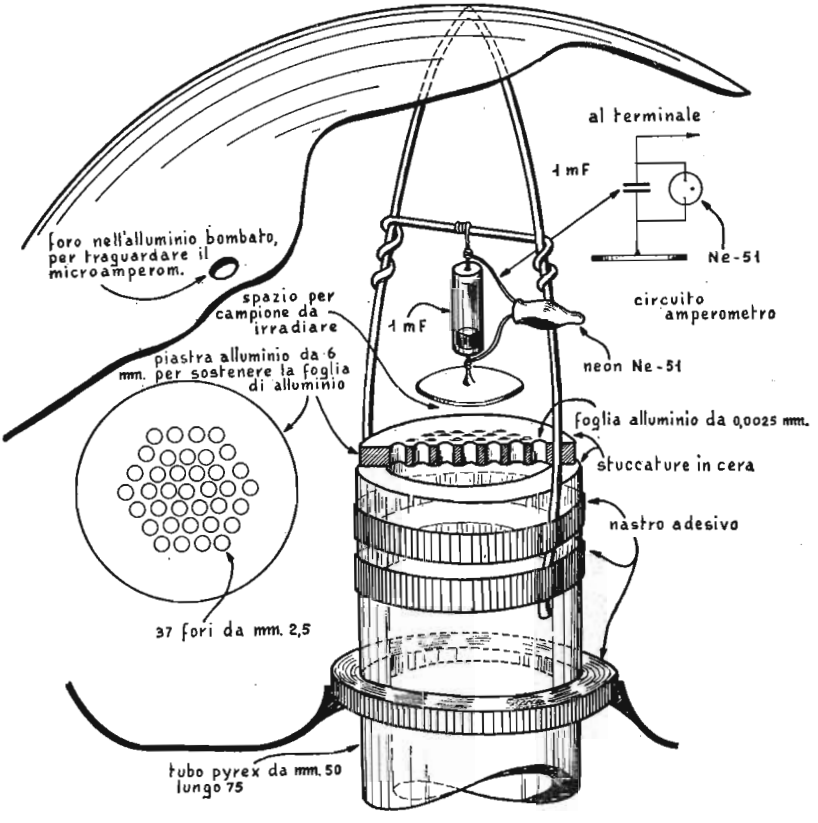
molto bassa, in modo che quando queste sono esposte ad atmosfere rarefatte, evaporano in misura minima e, se evaporano, i vapori che ne derivano esercitano una pressione assai ridotta che non va ad alterare quella abbassata dalle pompe; tra questi materiali sono da ricordare la cera da Khotinsky, che presenta una pressione di vapore di un solo millesimo di millimetro di colonna di mercurio, le cere Dennison con pressione di vapore di addirittura in centomillesimo di millimetro di colonna e le cere Apiezon-W, con pressione di vapore addirittura di un centomilionesimo di millimetro di pressione.

Il fisico sperimentatore John Strong raccomanda una cera preparata fondendo insieme parti uguali di colofonia e di cera di api raffinata: la pressione di vapore di una tale miscela, se bene amalgamata, si accosta molto a quella della Piceina e dell'Apiezon-W. Tale materiale deve essere applicato dopo essere riscaldato al punto di emettere del fumo, con l'aiuto di un contagocce: per quanto esso aderisca abbastanza bene anche alle superfici fredde, è buona norma quella di riscaldare il metallo e le parti metalliche sulle quali questa deve essere applicata.

Nel prototipo descritto, è stata usata della Piceina che per caso era disponibile al momento della costruzione; le parti vennero scaldate sino ad una temperatura corrispondente al punto di rammollimento della cera, dopo di che i giunti e le superfici lungo cui interessava la tenuta ermetica vennero sfregati con un blocchetto di quella cera, di cui un sottile strato aderì su tutte le superfici che interessavano.

A questo punto la griglia di alluminio era stata premuta contro l'estremità del tubo sino a quando la cera in questione non si era solidificata, dopo avere riempito tutti gli spazi liberi dove interessava la tenuta ermetica; successivamente un altro strato di cera venne applicato lungo la superficie circolare curva della griglia stessa e su questa venne premuto il rettangolino di foglia di alluminio. La stuccatura a tenuta venne poi completata applicando, a caldo, una specie di filo di cera lungo tutti i bordi esterni di tutti i giunti.

Una specie di occhiello di filo di ottone da 2 millimetri venne poi appeso alla sommità del tubo con del nastro autoadesivo allo scopo di costituire una struttura portante di sostegno per il terminale dell'elettrodo, di forma appunto prossima alla sferica,



151. Dettagli della finestrella dell'anodo e del microamperometro, nell'acceleratore.

del diametro di 30 centimetri. A questa stessa struttura è stato poi applicato anche un semplice circuito destinato a dare delle indicazioni microamperometriche relative all'intensità del fascio, e consistente di un condensatore da 1 microfarad in carta ed olio, a bassissima perdita, una resistenza di elevato valore ed una lampadinetta al neon per cercafase tipo Ne-2.

Il terminale di entrata del microamperometro era rappresentato da un piccolo disco di alluminio dello spessore di 1,8 millimetri a bordi smussati e del diametro di 40 millimetri soste-

nuto, al centro, da uno dei due conduttori del condensatore ad un'altezza di circa 20 millimetri al disopra della griglia di alluminio. L'altro conduttore del condensatore venne invece saldato ad un filo trasversale collegato, come si vede in fig. 152, ai due bracci dell'occhiello in filo di ottone.

Il fascio di elettroni incontrava nel suo percorso il disco di alluminio ed, eventualmente, caricava il condensatore ad esso collegato ad un potenziale al quale aveva luogo l'innesco della scarica nell'interno del bulbo al neon; da ciò il condensatore stesso si scaricava. Una circolazione di corrente del valore di 1 microampère dava luogo al lampeggiamento del bulbo, ad intervalli di 15 secondi, ed il regime di lampeggiamento risultava proporzionale alla entità della corrente.

Nell'elettrodo sferoidale superiore viene poi fatto un foro del diametro di 6 millimetri con i bordi ammaccati verso l'interno, allo scopo di consentire dall'esterno dell'apparecchio l'osservazione del bulbo situato invece nell'interno, in modo da seguirne i lampeggiamenti, senza essere costretti ad avvicinare eccessivamente la testa all'elettrodo ed alla macchina in genere. Un'altra ammaccatura viene poi fatta in posizione diametralmente opposta dell'elettrodo sferico stesso, in modo da assicurare un contatto con l'elettrodo terminale della macchina generatrice di Van de Graaff.

L'ammaccatura circostante al foro è stata prevista allo scopo di prevenire il concentrarsi di forti cariche elettrostatiche che si sarebbe invece avuto nel caso che qualche spigolo vivo od appuntito risultasse sporgente verso l'esterno. In queste condizioni il bulbetto al neon poteva essere osservato ad una distanza di circa 60 centimetri, specialmente con l'aiuto di un binocolo da 8 ingrandimenti ed operando in ambiente poco illuminato. Il terminale positivo di una macchina elettrostatica Van de Graaff venne poi posto in contatto con il terminale superiore dell'acceleratore per fornirgli la tensione che a questo occorre per il funzionamento dell'apparecchio.

I campioni dei materiali da trattare, quali i composti idrocarburi, semi di piante, ecc., vennero poi disposti su di un sottile velo di politene al disopra della foglia di alluminio della finestrella di uscita, ma al disotto del disco di alluminio collegato con il microamperometro a lampeggiamento.

Il tubo acceleratore dovette poi essere vuotato dall'aria che conteneva, sino ad una pressione di un centomilionesimo di millimetro di colonna di mercurio, allo scopo di prevenire un eccessivo numero di collisioni tra le particelle accelerate e le molecole del gas rimasto nell'interno del tubo.

Le molecole ionizzate da queste collisioni avrebbero infatti manifestato la tendenza a scorrere, con accelerazione progressiva, in direzione del filamento, sotto forma di ioni positivi ed, entrando in collisione con altri atomi, avrebbero dato luogo alla produzione di altri ioni, specie sotto le tensioni elevate esistenti nel campo elettrico; questo avrebbe avuto come conseguenza una valanga di particelle cariche che poteva paralizzare il funzionamento del tubo.

Alla pressione di 0,01 micron di mercurio le molecole di gas possono riuscire a compiere indisturbate un percorso di circa 5 metri, prima di incontrare qualche ostacolo, per questo le collisioni in casi come questi sono abbastanza rare. Un tale livello di depressione o di vuoto richiede un'attrezzatura piuttosto elaborata per il pompaggio, nonché un'estrema attenzione nell'eliminazione di perdite.

L'attrezzatura più economica, esistente in commercio, in grado di dar luogo alla depressione voluta, costa circa 120.000 lire: da questa considerazione derivò la tendenza, da parte di quanti si interessarono alla costruzione del prototipo, alla realizzazione di un qualche sostituto abbastanza efficiente, partendo da complessi già pronti, quali il gruppo compressore esistente nei vecchi frigoriferi.

Un vuoto preliminare, dell'ordine dei 20 millimetri circa, può già essere ottenuto con una semplice pompa a caduta di acqua, o di un compressore da frigorifero fatto funzionare all'inverso. Depressioni maggiori possono però essere ottenute collegando due compressori di frigorifero del tipo rotante in serie, allo scopo di realizzare un complesso a due stadi.

I compressori del tipo a pistone non sono di solito soddisfacenti a meno che non vengano sottoposti a talune modifiche, poiché la loro valvola di ammissione, che viene azionata dalla pressione del gas, smette di scattare da sola quando il sistema ha portato il gas sino ad una pressione di 30 millimetri circa.

È però possibile ottenere un miglioramento nella misura del

50% di questa prestazione da parte dei compressori a pistone, scavalcando le valvole di ammissione. I compressori rotanti, quali sono ad esempio quelli usati nel frigorifero Frigidaire, non hanno invece valvole e possono pertanto essere facilmente utilizzati ed adattati per un sistema a stadi multipli. Il sistema usato nel prototipo consisteva di due gruppi acquistati d'occasione al costo di 3000 lire ciascuno, comprensive anche del motore elettrico di azionamento.

La valvola di ammissione dei pistoni era stata eliminata a mezzo dell'esecuzione di un foro, nella parete del cilindro, appena al disopra del punto estremo inferiore della corsa di questo. A questo foro era stato poi saldato ad ottone un corto pezzetto di tubo di rame che avrebbe rappresentato la nuova linea di entrata.

Il pistone, nella sua corsa ascendente, copre ben presto questa apertura eliminando così la necessità per una valvola apposita fatta funzionare dal gas stesso. La linea di entrata a questo gruppo è collegata, con un tubo, alla linea di scarico del compressore rotante; un sistema di valvole e di condutture permette che l'uscita dal compressore rotante sia collegata all'entrata del complesso a pistoni modificato, oppure ad un serbatoio metallico abbastanza robusto della capacità di 8 o 10 litri.

Un sistema analogo di tubi e di connessioni a valvole permette all'entrata del compressore rotante di essere collegata o alla linea di uscita del compressore rotante oppure al serbatoio succitato. Quando le pompe vengono collegate in tandem e con lo scarico di entrambi emesso direttamente nell'aria, le pompe potranno dare luogo ad una pressione di circa 1 millimetro.

Con l'espediente però di effettuare lo scarico del sistema nel serbatoio, precedentemente portato alla pressione di 1 millimetro, sarà possibile ottenere un vuoto finale di circa 1/10 di millimetro.

Per la lubrificazione dei meccanismi, debbono essere usati oli speciali, essi pure a bassa pressione di vapore: le pompe debbono anzi dapprima essere scaricate completamente dall'olio convenzionale esistente nella loro coppa, quindi vanno riempite con un quarto circa di litro di olio di paraffina, poi fatte funzionare per una diecina di minuti ed infine nuovamente svuotate. Se nella paraffina sono evidenti tracce anche minime del vecchio

olio le pompe debbono essere nuovamente pulite a fondo, con un altro quantitativo di olio di paraffina pulitissimo.

Solo a questo punto esse possono essere riempite con l'olio speciale per alto vuoto; forse, alcune frazioni volatili degli oli precedenti possono ancora rimanere, ma queste possono essere eliminate solamente dopo molte ore del funzionamento del sistema nelle condizioni di massimo vuoto. A differenza di quanto accade nelle pompe convenzionali a vuoto, i compressori ricuperati da frigoriferi presentano delle grandi superfici di contatto tra l'olio ed il gas sulla linea di scarico del sistema e per questo esse sono particolarmente suscettibili alla presenza di componenti volatili negli oli stessi.

Il serbatoio a vuoto realizzato per il prototipo consisteva di una coppia di barattoli di vetro, da 4 litri circa, collegati alla pompa attraverso condutture pulitissime di rame da 6 millimetri inserite in fori piccolissimi praticati nei tappi di gomma dei recipienti stessi, dopo l'applicazione di grasso ermetico. Il serbatoio viene dapprima vuotato alla pressione di 1 millimetro dalle due pompe in tandem, quindi le pinzette che adempiono alla funzione di valvole sono manovrate per collegare il serbatoio alla linea d'uscita del compressore rotante. Se il sistema descritto non presenta molte perdite e se i suoi componenti non avevano fissato troppi gas sulla loro superficie, un pompaggio fatto dal serbatoio non richiederà di essere rinnovato se non dopo molte ore.

La pressione finale alla quale il tubo opera viene raggiunta per mezzo di una pompa a diffusione: un serbatoio da 4 o 5 litri è collegato tra l'entrata della pompa rotativa e lo scarico di quella a diffusione; la pressione in entrambi i serbatoi viene indicata da un manometro collegato nella maniera indicata, v. fig. 152.

Quando la pressione in entrambi i serbatoi sale al disopra di 3 millimetri di mercurio lo si collega all'entrata della pompa rotativa che si fa funzionare sino a quando la pressione nel serbatoio sia scesa di nuovo ad 1 millimetro.

Tentativi vennero fatti, all'epoca della costruzione del prototipo, nella realizzazione di una pompa a diffusione a mercurio, partendo da ritagli di materiale idraulico, ma l'impresa non venne coronata dal successo: va comunque, ammesso che l'im-

presa non era stata tentata con molto impegno. Il progetto infatti non dovrebbe essere molto difficoltoso, specialmente a quanti abbiano disponibilità di un'attrezzatura di officina o che vogliano comunque attingere alle prestazioni di qualche meccanico.

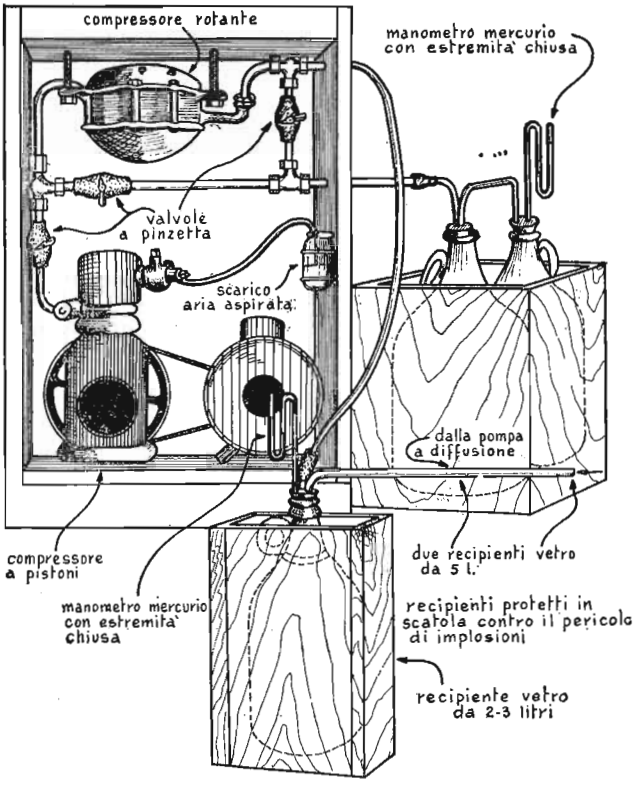
Sono poste in commercio diverse pompe a diffusione di varia concezione e di diverse portate, a prezzi a partire dalle 20.000 lire; non è comunque difficile trovare qualche buon soffiatore di vetro della zona, che sia disposto a realizzare un ottimo esemplare di questo apparecchio per una cifra di 10.000 lire circa.

Le pompe di piccole dimensioni a mercurio richiedono per funzionare circa 1,3-1,5 chilogrammi di mercurio il cui costo sul mercato normale è di 7 ed 8.000 lire. Assieme alla pompa occorre poi anche un dispositivo riscaldatore di potenza compresa tra 100 e 300 watt, il cui calore porti il metallo liquido alla temperatura adatta per la sua rapida vaporizzazione.

La pompa che è stata ottenuta da un soffiatore di vetro in occasione della costruzione del prototipo dell'acceleratore, fig. 153, era stata progettata per entrare in funzione con una pressione di « prevuoto » dell'ordine dei 4 millimetri. A quanto viene affermato dalle note e dai testi scientifici, molte pompe commerciali richiedono una pressione di prevuoto di 0,3 millimetri di mercurio od anche meno. In generale il regime al quale la pompa a diffusione rimuove i gas dal sistema da vuotare, varia in ragione inversa della pressione di prevuoto sulla quale essi entrano in funzione.

La pressione finale raggiunta dipende dalla pressione del vapore del fluido pompante (non viene infatti usato solamente il mercurio, ma anche diversi oli speciali). La pressione del vapore, nel caso di pompe a mercurio, stabilisce il limite inferiore di un micron ossia di un millesimo di millimetro, a meno che il sistema stesso non sia munito di una trappola allo scopo di impedire ai vapori di mercurio di instradarsi in direzione del recipiente o del sistema dal quale invece interessa estrarre, nella massima percentuale, i gas presenti.

Una trappola a freddo per questi vapori può essere realizzata refrigerando una parte della conduttura esistente tra la pompa a diffusione ed il tubo acceleratore, ciò permette allora alla pompa di raggiungere pressioni di un centomillesimo di millimetro a patto che la temperatura della trappola stessa sia



152. Pompe di prevuoto e serbatoi per il vuoto, nel sistema di vuotatura dell'acceleratore di particelle.

mantenuta ad un valore di almeno 40 gradi sotto zero, il che comunque è facile da ottenere sia con l'aiuto di blocchetti di ghiaccio secco, come anche usando dell'aria liquida.

La trappola usata nel complesso descritto consisteva di una sezione piegata ad « U » nella conduttura da 12 millimetri in tubo di rame. Questa sezione dovette essere inserita in un recipiente di metallo isolato termicamente da uno strato di 12 o 15 millimetri di cartone coperto da foglia di alluminio, avvolto sul recipiente stesso. La miscela refrigerante usata consisteva di parti uguali di acqua ed alcool alla quale del ghiaccio secco

spezzettato veniva aggiunto via via che questo apparve necessario.

Non occorre che la trappola sia messa in funzione, con l'introduzione del ghiaccio secco, sino a quando il resto del sistema non abbia raggiunto una pressione di 1 o 2 microns. Questo sistema previene la formazione, nella trappola, di ghiaccio. Esso altrimenti tenderebbe a liberare del vapore di acqua con il progredire delle condizioni di vuoto, aumentando così il tempo di pompaggio necessario per ottenere determinate condizioni di depressione.

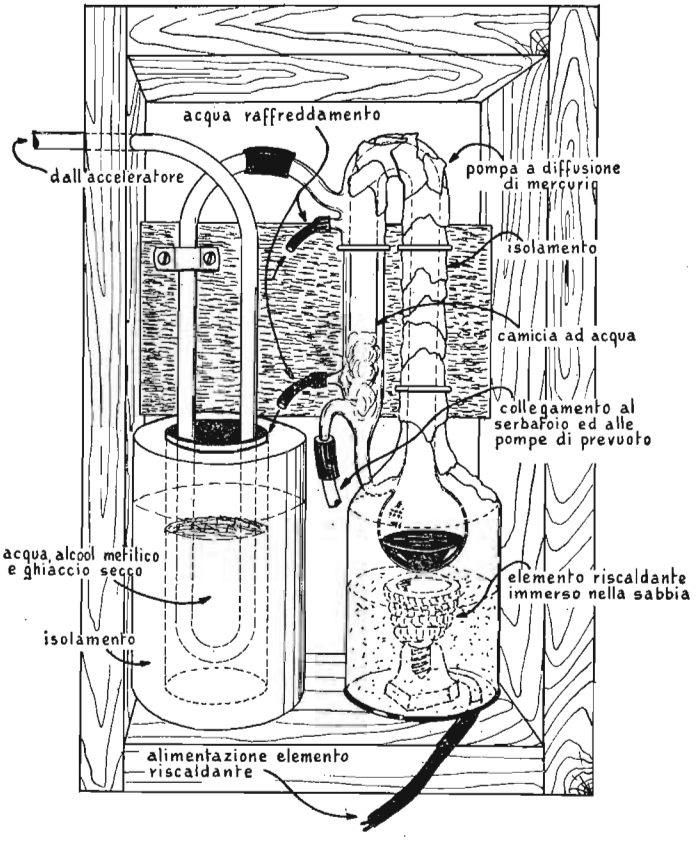
Il mercurio viene vaporizzato da un gruppo nel quale sia presente una candela a raggi infrarossi, sottovoltato, in modo che la potenza massima di lavoro sia dell'ordine dei 150 watt, regime, questo, sufficiente per il mantenimento del sistema in funzione.

L'elemento radiante a vite deve essere immerso in un bagno di sabbia contenuto in un recipiente di lamiera in modo che la sabbia stessa, raggiunga il cono concavo di porcellana dell'elemento; è appunto il calore che viene irradiato da questo cono concavo aggiunto al poco calore diffuso dalla sabbia riscaldata, quello che è sufficiente a fare funzionare la pompa.

Anche una lampada ad incandescenza della potenza di 150 watt, sistemata nelle stesse condizioni, funziona altrettanto bene; indubbiamente, in ogni caso, al momento di decidere il posto per la sistemazione della pompa, occorre tenere presente che in vicinanza di questa occorre che sia disponibile una presa di acqua, anche dell'impianto idrico, a patto che si tratti di acqua non troppo mineralizzata, destinata comunque al raffreddamento del sistema.

Una volta che l'impianto per l'evacuazione sia stato completato, solo la parte più facile del lavoro potrà considerarsi portata a termine: dopo ciò è opportuno localizzare ed eliminare, una per una, le fonti di perdita, attraverso le quali il vuoto possa andare più o meno rapidamente disperso. Questa fase è veramente noiosa e potrebbe anche impegnare giorni ed addirittura settimane, in dipendenza della fortuna del costruttore e dell'efficienza del dispositivo in suo possesso, per il rilevamento di queste perdite.

Occorrono almeno tre manometri a mercurio ad estremità



153. Pompe a diffusione di mercurio e trappola a freddo per il sistema di vuoto.

chiusa, consistenti di tubi di vetro della sezione di 6 millimetri e lunghi circa 600 millimetri. Se viene usato del vetro al calcio può esserne facilissima la saldatura di una delle estremità, con il semplice riscaldamento dello stesso ad una fiamma Bunsen grazie anche alla elevata fusibilità del vetro in questione. Un corto tratto di questo tubo, della lunghezza di 150 millimetri in corrispondenza dell'estremità di questo, chiusa mediante la saldatura, viene poi riscaldata sino al rammollimento del mate-

riale, quindi piegata a 180 gradi, in modo che tale braccio venga a risultare praticamente parallelo alla parte restante e più lunga del tubo stesso.

La porzione maggiore viene poi riscaldata all'estremità opposta ed anche qui, ossia dove si trova l'apertura, si effettua un'altra curvatura a 180 gradi, dalla parte opposta della prima: in queste condizioni ciascuno dei tubi così trattati presenterà una forma simile, sia pure con approssimazione, ad una « S » molto schiacciata.

A questo punto, un quantitativo di mercurio sufficiente deve essere introdotto nel tubo sino a che questo occupi tutta la parte piegata e chiusa, nonché una porzione dell'elemento centrale diritto, pari al 20% della sua lunghezza. Questa operazione è facilmente eseguibile specialmente se si dispone il tubo in una posizione inclinata ed oscillandolo via via che il mercurio, con un contagocce, viene introdotto dall'estremità aperta, a piccoli quantitativi ogni volta.

Così operando, si deve continuare sino a riempire completamente l'estremità piegata e chiusa, in maniera che in questa non siano presenti tracce anche minime di aria. Un manometro viene ora inserito in ciascuno dei serbatoi ed un altro viene collegato, sia pure provvisoriamente, al tubo acceleratore di particelle.

La pompa del prevuoto viene a questo punto messa in funzione: se il mercurio non si è separato dall'estremità sigillata del tubo del manometro, dopo un quarto di ora circa che la pompa funziona conviene impartire al tubo stesso, in corrispondenza di tale estremità, dei piccoli colpi con un martelletto di gomma; se anche questa operazione non dà luogo alla separazione del mercurio dal fondo, si tratta di esaminare la pompa per qualche difetto di funzionamento oppure di andare alla ricerca di perdite eccessive esistenti lungo le condutture. Una volta comunque che la pressione sia stata portata al valore di 1 millimetro gli elementi singoli del sistema di vuoto possono essere separati dopo avere chiuso le pinzette che, serrando le varie condutture, servono da valvole.

A questo punto le pompe vengono chiuse, è bene che i manometri siano muniti di scale con graduazioni arbitrarie. Le indicazioni del manometro vengono annotate su di un'estremità della linea di pompaggio e confrontate con una seconda serie di

annotazioni riprese dopo un intervallo abbastanza sensibile (di 12 o 24 ore) con la pompa nelle stesse condizioni, inattiva. In genere ciascuna sezione nella quale è stato suddiviso il sistema darà un'indicazione diversa, dopo questo tempo, segnalando certamente un aumento della pressione derivata dalla presenza di perdite o dalla vaporizzazione di tracce di sostanza volatile presente nel sistema stesso.

Si provvede comunque all'applicazione di grasso ermetico per alto vuoto lungo tutti i punti in cui le perdite sospette possano avere sede e si ripete quindi la procedura, mettendo la pompa in funzione sino alla pressione di 1 millimetro, indi bloccandola, facendo le misurazioni e quindi rifacendo i rilevamenti dopo un altro periodo di 12 o 24 ore sempre con la pompa lasciata immobile per tutto questo tempo. Sarà così possibile accertare, caso per caso, dove l'elevazione della pressione in ciascuna delle sezioni sia divenuta meno marcata, dando così un segno tangibile che una o più delle perdite possibili siano state corrette od eliminate. Dopo una certa serie di queste prove, sarà possibile constatare che il sistema sarà diventato pressoché ermetico: solo in queste condizioni sarà opportuno tentare una prova di funzionamento generale con la pompa a diffusione in funzione.

Nel sistema realizzato per il prototipo dell'apparato, la pressione di circa un micron venne ottenuta dopo un periodo di circa 30 minuti di funzionamento; un vuoto ulteriore, utilizzabile, si otteneva invece nel tubo acceleratore, allo scadere di un periodo di circa otto ore.

Le pompe di prevuoto venivano fatte funzionare per un periodo di circa un'ora o comunque sino a quando la pressione nell'interno del tubo acceleratore fosse scesa ad un valore di ½ millimetro, quindi le valvole di queste venivano chiuse e subito dopo i motori di azionamento delle pompe stesse venivano fermati. Il serbatoio da 2,5 litri circa, presente all'uscita della pompa a diffusione, ha una sufficiente capacità per ricevere il gas di scarico pompato dall'apparecchio durante diversi giorni di funzionamento continuo.

Moltissimi degli sperimentatori sono certamente interessati a possedere almeno un vacuometro per alto vuoto, del tipo McLeod, con cui seguire il progredire della vuotatura ed anche le perdite presenti nel sistema che risultino troppo lievi da potere essere

rivelate da un normale manometro. Un tale strumento funziona con il prelevamento di un quantitativo di gas di cui interessa misurare la pressione, in un volume abbastanza grande e quindi con la successiva compressione dello stesso a mezzo di una colonna di mercurio, sino ad un volume molto piccolo, in un tubo capillare.

La pressione del gas dopo la sua compressione viene quindi paragonata con quella del sistema di vuoto, osservando la differenza di altezza alla quale una colonnina di mercurio sale, in un tubetto capillare che viene collegato al sistema; un esempio di uno strumento di questo genere è quello visibile nella fig. 154, versione questa delle molte che erano state costruite nel corso di esperimenti con il prototipo dell'apparecchiatura.

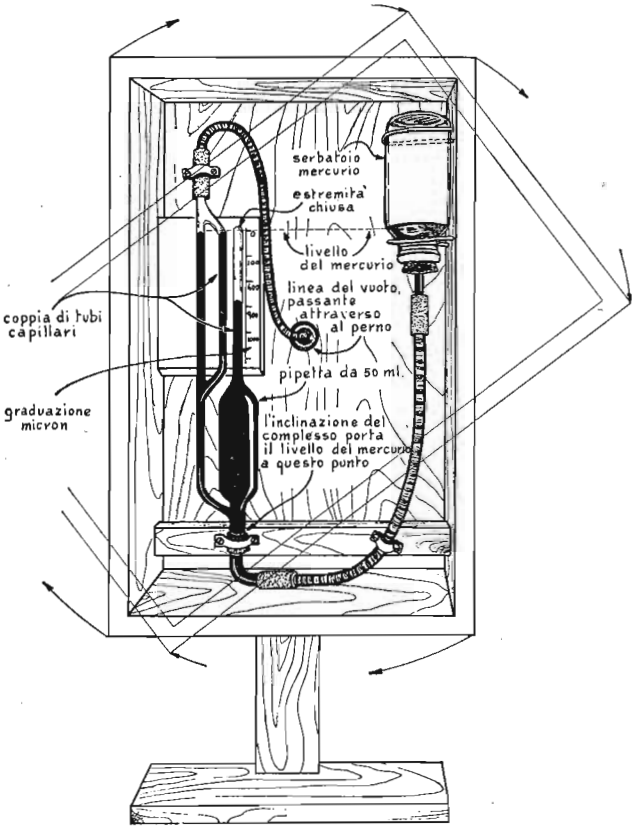
Il vacuometro è stato realizzato a partire da sottili provette di vetro da laboratorio, fuori uso per il fatto di essere rotte alle estremità, ma altrimenti utilizzabili. Dei rilevamenti fatti con questo sistema sono risultati utilizzabili sino a pressioni dell'ordine dei 10 microns, mentre a pressioni ancora inferiori le prestazioni di tali strumenti lasciano alquanto a desiderare per le perdite che si verificano nelle connessioni di gomma ed anche per la lenta, sostanziale, infiltrazione di aria attraverso le condutture.

Un secondo strumento dello stesso tipo, fatto realizzare da un soffiatore di vetro della zona, presentava invece una sensibilità dell'ordine di 0,1 microns. Gli strumenti prevedono l'impiego totale di circa 1,300 grammi di mercurio; il dibutilftalato, ossia un olio usato come plastificante per la lavorazione di molte materie plastiche, può essere usato in sostituzione del mercurio a causa della sua maggiore convenienza, in quanto costa meno di lire 1500 al chilo; in una serie di prove sono stati anche tentati altri olii, ivi inclusi anche vari di semi e perfino dell'olio di oliva.

Anche questi si sono dimostrati utilizzabili, a patto che prima del loro impiego fossero fatti bollire per alcuni minuti, a pressioni dell'ordine di 1 millimetro di mercurio; in seguito però, tali sostanze assumono un comportamento irregolare per il fatto che assorbono dall'aria delle sostanze volatili che più tardi restituiscono con grave disagio dell'intero sistema.

Debbono anche essere tenuti presenti alcuni gravi pericoli:

prima di tutto, un tubo in vetro di notevoli dimensioni, od un qualsiasi recipiente di questo materiale, nel quale sia presente una forte depressione, come accade nel nostro caso può, nel rompersi, per altre cause od anche per il ben noto fenomeno della implosione, proiettare intorno schegge di vetro ad elevata velocità, su di un'area molto vasta: ne deriva l'opportunità che qualsiasi contenitore di dimensioni non piccolissime sia sistemato all'interno di una struttura protettiva di assi di legno, o metallo.



154. Vacuometro di MacLeod, per rilevare le basse pressioni nel sistema a vuoto.

In secondo luogo, occorre tenere in mente che l'acceleratore è un parente molto stretto del tubo a raggi X. Il potere di penetrazione dei raggi stessi viene di solito determinato dal peso atomico del metallo o dell'elemento che serve da bersaglio e viene appunto bombardato dagli elettroni. La radiazione emessa dagli elementi leggeri quale l'alluminio, viene prontamente assorbita dal vetro, metallo sottile, ed anche dalla stessa aria. Quando invece il fascio colpisce bersagli di metalli pesanti, quale il rame, ecc., dà luogo alla produzione di una radiazione molto penetrante e pertanto pericolosa; è quindi importante accertare che nessuna delle sostanze esposte al fascio elettronico al disopra dell'apparecchio, contenga anche solo tracce di metalli che non siano dei più leggeri.

In terzo luogo, un costruttore inesperto dovrebbe anche usare una certa attenzione nel maneggiare il mercurio, specialmente quando questo viene confinato in recipienti ed in tubi di vetro. Se infatti l'aria viene immessa di colpo in un manometro del tipo ora descritto, ossia con un'estremità chiusa, è sorprendente notare quanta energia sia posseduta dal cosiddetto martello ad acqua e, nel nostro caso, a mercurio.

In vista di tali inconvenienti che potrebbero determinare la rottura di tubi di vetro anche molto solidi, è utile avvolgere tutti i tubi in questione in guaine di materiali plastici abbastanza flessibili ed aderenti. Il possesso di anche solo un chilogrammo di mercurio comporta un vero pericolo a causa della pressione di vapore di questo elemento, la quale è talmente elevata da destare qualche preoccupazione perfino quando l'intero ambiente si trovi ad una temperatura di soli 35 gradi centigradi.

In quarto luogo, sebbene la macchina di Van de Graaff non sia di per sé pericolosa, essa è sempre in grado di impartire con la sua scarica una scossa talmente forte da fare perdere l'equilibrio a chi la riceva, e mandare questi incontro ad ulteriori incidenti.

Coloro che siano in difficoltà nell'approvvigionamento di qualche componente possono indirizzarsi ad un dilettante appassionato di queste scienze, F. B. Lee, 230 Hampton, Kenmore 17, N. Y., il quale è ben lieto di aiutare dei dilettanti delle stesse discipline, meno fortunati nell'approvvigionamento dei componenti e di parti necessarie.

Pericoli e precauzioni

James H. Bly, della High Voltage Corporation Engineering di Burlington, Massachusetts, consiglia una variazione al progetto di acceleratore di particelle ora completato.

In genere, penso che i pericoli introdotti nel sistema dalla presenza dell'apparecchio non sono davvero limitati a quelli della rottura delle parti di vetro, ecc., sebbene anche questo aspetto di pericolosità non debba essere trascurato: vanno pertanto esaminati anche gli altri aspetti del problema, specialmente in considerazione del fatto che tale apparecchio deve essere manipolato da dilettanti, taluni dei quali certamente molto giovani e non certo provveduti di quelle attenzioni necessarie.

Per prima cosa, ad esempio, è necessario sottolineare i pericoli anche potenziali che possono derivare dai raggi X e dagli elettroni che sono in giuoco nel complesso.

Anche infatti se il costruttore ha l'avvertenza di rispettare la condizione imposta da F. B. Lee in merito all'impiego esclusivo di bersagli di metallo a basso peso atomico, per il fascio di elettroni, sarà tuttavia inevitabile la produzione dall'apparecchio di raggi X ad elevata energia, quando viene usata, per l'alimentazione dell'apparecchio, una tensione di 200 o 300 chilovolt.

Se poi delle correnti dell'ordine di 20 microampère sono raggiunte con queste tensioni, il pericolo risultante è ulteriormente moltiplicato. In più, in queste condizioni, dall'apparecchio, oltre che le semplici radiazioni elettromagnetiche, verranno emesse anche notevoli quantità di elettroni, alcuni dei quali almeno, potranno passare attraverso il foro di osservazione della lampada al neon interna, per le indicazioni microamperometriche, installata nell'interno dell'elettrodo superiore.

Sebbene possa dirsi ancora abbastanza sicuro guardare attraverso tale forellino da una distanza di 60 centimetri, questa condizione non è affatto certa ed assoluta; ne deriva pertanto che tale macchina acceleratrice potrebbe essere notevolmente migliorata nel caso che tali pericoli e le loro fonti siano esaminati uno per uno ed eventualmente corretti.

L'apparato descritto è stato provato in modo esauriente appunto alla ricerca di pericolose radiazioni. Un fatto della maggiore importanza su cui F. B. Lee avrebbe potuto soffermarsi è quello della pericolosità generale presentata anche da questo forellino, per chi sosti nelle vicinanze della macchina, specialmente per lunghi periodi di tempo, senza interruzioni, osservando frequentemente la lampada al neon attraverso il foro. Ad ogni modo, una soluzione a questo problema potrebbe essere quella di piazzare nell'interno del foro un disco di vetro abbastanza spesso, possibilmente del tipo al piombo (ossia di quello che presenta un più elevato fattore di distrazione), atto a chiudere completamente il foro e che per le sue stesse caratteristiche avrebbe l'effetto di intercettare la maggior parte degli elettroni.

Un'altra soluzione potrebbe essere quella di eseguire il forellino di dimensioni ancora minori, e quindi fissare, nell'interno di esso, il bulbetto al neon, in modo che le sue placchette risultassero visibili dall'esterno, e che la luminescenza del bulbo stesso, ossia il suo lampeggiamento, potessero essere rilevati e valutati anche a distanze di parecchi metri, con sicurezza assai maggiore di quella della distanza che invece risultava in origine di 50 o 60 centimetri.

5

ESPERIMENTO DI MILLIKAN DELLA GOCCIA DI OLIO

Se si sospende a mezz'aria una goccia di olio, applicando il fenomeno dell'attrazione elettrostatica, si può riuscire a misurare con esattezza la carica elettrica di un solo elettrone. In effetti, la goccia di olio diviene una sorta di bilancia capace di rispondere indicandola, ad una forza dell'ordine di pochi miliardesimi di grammo.

Mentre stava lavorando con una camera a nebbia di Wilson, nella primavera del 1909, Robert A. Millikan, allora professore di fisica all'Università di Chicago, apprese come era possibile fare rimanere una goccia di acqua sospesa a mezz'aria, come se si trattasse della ben nota cassa di Maometto.

In queste condizioni la goccia risultava così delicatamente esposta tra la gravità ed un campo elettrostatico contrastante che essa avrebbe reagito, con il suo spostamento, ad una forza dell'entità di pochi miliardesimi di grammo, vale a dire ad una forza di ben 10.000 volte inferiore di quella minima rilevabile dalla migliore bilancia meccanica dell'epoca. Con la sua tecnica Millikan accertò l'esistenza dell'elettrone, misurò la sua carica e pertanto apportò un aiuto alla ricerca fisica che ha continuato sino all'epoca attuale.

All'inizio del nostro secolo molti erano i fisici che sostenevano la teoria secondo la quale l'elettricità si comporta come un fluido, così che l'entità delle cariche su di un elettrodo può essere variata sino al valore desiderato. Qualche ricercatore però pensava altrimenti: per esempio l'emissione di particelle elettricamente cariche dalla superficie dello zinco esposto alla luce, ossia il considddetto effetto fotoelettrico, come anche la produzione di ioni in un tubo a scarica nel gas, tendevano infatti a soste-

nere la teoria secondo la quale l'elettricità fosse invece costituita da piccole particelle.

I fisici britannici C. T. R. Wilson ed H. A. Wilson avevano separatamente affrontato la questione osservando la risposta e la reazione di una nebbia di goccioline di vapore di acqua esposte ai raggi X e ad un campo elettrostatico. Millikan decise di rendere più preciso l'esperimento, concentrandosi sul comportamento delle singole goccioline, invece che su quello dell'intera nebbia da queste formata.

Per formare le gocce, egli adottò una versione modificata della camera a nebbia di C. T. R. Wilson, vale a dire un cilindro di vetro munito di un pistone. Quando quest'ultimo veniva tirato rapidamente verso il basso, la dilatazione che avveniva nello spazio interno della camera dava luogo all'abbassamento della temperatura dell'aria umida contenuta nell'interno del cilindro e da questo derivava l'immediata formazione di una nebbia di goccioline di acqua.

Millikan applicò degli elettrodi nell'interno della camera, alla sommità ed al fondo di questa e collegò ad essi una differenza di potenziale prodotta da una batteria di accumulatori da 4.000 volt; quindi egli illuminò lateralmente le goccioline con la luce di una lampada ad arco, ed osservò il loro comportamento attraverso un piccolo telescopio.

Quando nella camera veniva tirato in basso il pistone per determinare l'espansione dei gas e veniva applicata la tensione agli elettrodi, la maggior parte delle goccioline scendeva verso il basso per effetto di gravità. Talune delle goccioline però prelevavano, al momento della dilatazione, una carica elettrica. La maggior parte di queste sfrecciava immediatamente in direzione di un elettrodo o dell'altro, a seconda della polarità della carica che avevano ricevuto.

In esiguo numero queste goccioline sostavano però nello spazio, sospese, per un secondo o due, come se la loro tendenza a cedere fosse stata esattamente bilanciata dalla spinta verso l'alto, da parte del campo elettrico. Più tardi le goccioline stesse, perdevano peso per effetto dell'evaporazione e questo alterava l'equilibrio per cui esse tendevano a portarsi verso l'elettrodo superiore. Erano state appunto queste goccioline ad impegnare l'interesse di Millikan: egli apprese ben presto come compensare

questa perdita di peso a causa dell'evaporazione riducendo gradatamente la tensione tra i due elettrodi e pertanto l'attrazione di quello superiore, verso il quale le goccioline tendevano a portarsi.

Per caso, egli constatò che era possibile fare rimanere, immobile a mezz'aria, una goccia per il tempo di un minuto; in diverse riprese constatò che a volte una di queste goccioline immobili partiva bruscamente in direzione di uno dei due elettrodi. In più una gocciolina che era partita muovendosi in tale maniera, poteva a volte acquistare velocità nel suo percorso, oppure fermarsi di nuovo.

Millikan pertanto sospettò che queste goccioline acquistassero o perdessero delle cariche elementari, forse i famosi « atomi di elettricità » per i quali il fisico britannico G. J. Stoney aveva suggerito nel 1891, il nome di « elettroni ». Scriveva più tardi Millikan nel suo libro *L'elettrone*:

> Questo esperimento prova la possibilità della misurazione con certezza, non solo delle cariche presenti sulle singole goccioline, ma perfino della carica portata da un semplice ione atmosferico. Prendendo due misurazioni diverse della velocità sulla stessa gocciolina, una delle quali prima ed una dopo che questa aveva catturato uno ione, io stesso potevo in modo ovvio eliminare completamente le proprietà della goccia e dell'ambiente nel quale questa si trovava ed operare quindi con una quantità che era proporzionale alla carica che esisteva sul singolo ione catturato dalla goccia.

Nell'autunno del 1909, Millikan intraprese una nuova serie di esperimenti con un'apparecchiatura alquanto alterata. La camera a nebbia era stata sostituita con un semplice contenitore munito di finestrelle per l'osservazione ed una coppia di piastre metalliche, parallele, spaziate circa 15 millimetri. Dell'olio leggero veniva spruzzato allo stato di estrema suddivisione al disopra delle due placche, per mezzo di un comune polverizzatore per profumo. Talune delle goccioline potevano poi trovare un passaggio verso lo spazio compreso tra le placche stesse, grazie ad un forellino praticato al centro della placca metallica superiore.

Queste goccioline venivano illuminate ed osservate con la stessa tecnica usata per le goccioline di acqua. Le goccioline d'olio reagivano come quelle d'acqua, ad un campo elettrico che venisse stabilito tra le due placche ed, in più, non evaporavano in misura sensibile durante il periodo stabilito per le osservazioni.

Correggendo il campo elettrico, allo scopo di compensare le cariche prelevate dalle goccioline dall'aria, era possibile mantenere una goccia prescelta costantemente sotto osservazione.

Dopo alcuni mesi il nuovo apparato permise a Millikan non solo di provare l'esistenza dell'elettrone, ma anche di misurare la sua carica con una certa precisione ed eventualmente di misurare il numero di atomi contenuti in un grammo di idrogeno. Prima che questa serie di esperimenti fosse terminata, egli aveva accertato, indipendentemente da altri ricercatori, la massa approssimata dell'elettrone e le sue dimensioni, aveva confermato la spiegazione di Albert Einstein circa l'effetto fotoelettrico ed aveva ricavato sperimentalmente il valore della costante di Plank. Pochi esperimenti erano stati più produttivi e più affascinanti di quelli che si riferivano a queste ricerche.

Costruzione dell'apparato a goccia di olio; Goerge O. Smith, tecnico elettronico di Rumson, New Jersey, descrive una versione semplificata dell'apparato di Millikan, con caratteristiche tali che esso può essere facilmente riprodotto nel laboratorio casalingo

Può essere una sorpresa spiacevole per una generazione abituata a pensare in merito alle ricerche nucleari in termini di ciclotroni e di altri apparati complessi il fatto che l'apparato di Millikan sia facile da riprodurre, pur risultando abbastanza preciso da competere con le prestazioni ottenibili da apparecchi analoghi, costruiti da ditte specializzate.

L'esperimento è basato sul principio del bilanciamento, contro la forza di gravità, della forza elettrica che agisce su di una piccola goccia di olio. La forza elettrica viene determinata dalla interazione della carica esistente sulla goccia con la carica alla quale si trovano gli elettrodi dell'apparato. La carica degli elet-

trodi può essere misurata direttamente con un voltmetro comune, mentre la carica sulla goccia deve essere determinata indirettamente dalla velocità con la quale la goccia stessa si muove attraverso l'aria.

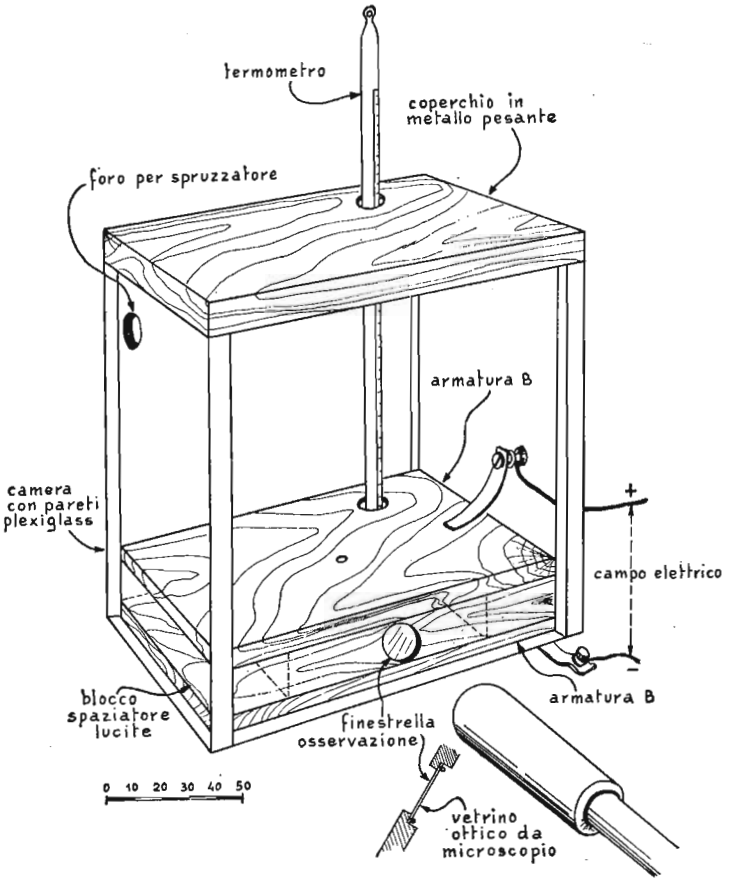
La velocità varia in funzione dell'intensità della carica e delle dimensioni della particella; ne deriva la necessità di stabilire questa ultima grandezza. A ciò si può arrivare ancora con procedimenti indiretti, ossia osservando la velocità massima o « velocità terminale » che assume una goccia in caduta libera attraverso l'aria. La velocità terminale di una goccia è raggiunta da questa quando la forza che viene stabilita dalla frizione esistente tra la goccia stessa e l'aria nella quale si muove è uguale alla forza di gravità: sono queste le condizioni nelle quali tali forze operano in direzione opposta e, data la loro uguaglianza di entità, si cancellano a vicenda, con il risultato che la goccia continua a muoversi ad una velocità costante.

Dato che la forza della gravità è nota e la velocità terminale può essere determinata misurando il tempo impiegato dalla goccia quando essa percorre in caduta libera un tratto determinato di lunghezza nota, la dimensione della goccia può essere calcolata per mezzo di una semplice formula che mette a profitto talune proprietà dell'aria. La carica della particella di acqua può allora essere calcolata introducendo i valori trovati sino ad ora in un'altra semplice formula e compiendo le ulteriori operazioni aritmetiche.

La precisione del metodo dipende dalla cura posta nella costruzione dell'apparato. Gli elettrodi sono contenuti in una scatola che può essere cilindrica oppure parallelepipeda, come nella fig. 155. Le pareti di questa scatola possono essere realizzate in vetro od in qualsiasi altro materiale plastico trasparente: il plexiglass risulta più facile da lavorare di quanto non lo sia il vetro, ma a parte questa caratteristica, non presenta alcun vantaggio funzionale, ove sia impiegato.

Le dimensioni di questa scatola non sono critiche: il modello della illustrazione allegata misura circa 7 centimetri di larghezza, 10 di lunghezza e 15 di altezza; lo spazio compreso tra i due elettrodi in basso non occorre che superi un ottavo dell'altezza totale dell'intera struttura.

Gli elettrodi debbono entrare con una certa precisione nello



155. Camera di vapore usata nell'esperimento di Millikan della goccia d'olio: visibili il pozzetto per il termometro ed il gruppo degli elettrodi. *Alla destra, in basso,* il telescopio per l'osservazione.

spazio ad essi destinato, in quanto questo permette di evitare il formarsi, nell'interno della zona Millikan, di turbolenze di aria tali da disturbare il funzionamento dell'apparecchio; è bene, comunque, che detti elettrodi possano essere rimossi con una certa facilità, a tutto vantaggio della comodità nello smontaggio dell'apparato per le necessarie periodiche pulizie.

L'elettrodo superiore è sostenuto da una coppia di barrette a sezione quadrata, di plexiglass, con lato di 10 millimetri. Tali blocchetti, oltre a servire da veri spaziatori per l'elettrodo superiore, servono anche da finestrella, rendendo possibile la illuminazione del sistema da uno dei lati. Le estremità di questi blocchi debbono giungere con una certa esattezza alle pareti opposte interne della struttura scatolare. Non è importante la dimensione della loro larghezza ma è bene che le loro superfici maggiori siano perfettamente lisce come del resto accade con l'uso di barra trafilata. Nel caso che tali spaziatori siano realizzati a partire da strisce tagliate da lastra di plastica, occorrerà provvedere alla lucidatura delle superfici ruvide lasciate dall'azione della sega, per prima cosa passandole su di un foglio di carta finemente abrasiva distesa sulla superficie di un tavolo di marmo sino ad eliminare tutti i segni più profondi dell'azione della sega, indi usando via via della carta abrasiva sempre più fine, sino ad impartire alle superfici una sorta di smerigliatura, che potrà essere eliminata infine con abrasivo comune finissimo ed al termine con rosso inglese sospeso in acqua. Come si vede, data la possibilità di reperire la barretta a sezione quadrata di plexiglass, l'uso di questa è consigliabilissimo per la sua estrema praticità.

Angoli e spigoli vanno smussati molto leggermente passandoli sulla carta abrasiva. Si passa poi alla preparazione dei due elettrodi che possono essere realizzati a partire da qualsiasi tipo di metallo, ma l'ottone è da preferire; le superfici delle due lastre rivolte nell'interno della camera debbono essere perfettamente piane con una tolleranza non superiore ad un centesimo di millimetro. La piastra superiore poi deve avere uno spessore sufficiente perché non tenda ad incurvarsi nella sua zona centrale, alterando l'uniformità dello spazio disponibile. Le superfici in opposizione delle due piastre debbono essere levigate con finissima carta smeriglio, a cui si fa seguire una sorta di vera e propria lucidatura con abrasivi quali il rosso inglese; dopo questa operazione è opportuno provvedere alla smussatura degli spigoli e delle costole delle piastre, per evitare che nella loro inserzione ed estrazione dalla scatola tendano a graffiarne le superfici interne.

Al centro della piastra superiore, coincidente con il punto di

unione tra le due diagonali del rettangolo, si esegue poi un forellino del diametro di 1 millimetro. Poi, da tale foro, si eliminano le sbavature di metallo che si siano formate alle due estremità poggiando su queste una punta di trapano di 3 millimetri allo scopo di creare in tali punti una sorta di svasatura conica. È preferibile l'impiego di materiale di un certo spessore, poiché esso con il suo peso tende a tenere insieme ed immobili i vari elementi della camera, vale a dire, le due barre spaziatrici di plexiglass nonché la piastra sottostante. Va detto che una buona parte del tempo tra i vari esperimenti deve essere dedicato dallo sperimentatore alla pulitura dell'apparato, per la eliminazione delle particelle di olio che tendono ad aderire alle due piastre sotto forma di un velo uniforme e che vanno eliminate periodicamente con un tampone pulitissimo, intriso di trielina, rinnovato diverse volte. È comunque consigliabile resistere alla tentazione di eseguire fori, filettare questi ed applicare al complesso qualsiasi altro elemento strutturale e di rinforzo.

Maggiore è il peso della piastra superiore, minori sono le possibilità che questa e tutte le altre possano risultare spostate, durante il normale uso dello strumento. I contatti elettrici vengono stabiliti con entrambe le piastre metalliche per mezzo di molle piane, nella maniera visibile dalla illustrazione. La scatola viene chiusa al fondo, dall'elettrodo inferiore ed alla sommità, da una terza piastra metallica. Date le particolari condizioni dell'apparecchio, questo deve poggiare su di un supporto isolante quale il legno ben secco e ricoperto con cera applicata sotto forma di soluzione diluita in trielina, in modo che possa penetrare nelle fibre.

Un foro di osservazione viene aperto nella parete frontale della scatola, nella zona cui corrisponde nell'interno lo spazio compreso tra le due piastre e nel quale avviene il fenomeno sul quale si basa l'esperimento. In tale foro si applica poi un vetrino di copertura utilizzando uno di quelli che servono da portaoggetti o da coprioggetti, nelle osservazioni al microscopio; tale vetrino viene tenuto immobile al suo posto, con due anelli di acciaio ad espansione, realizzati con del filo di acciaio armonico.

Un altro foro deve poi essere praticato nella scatola, in prossimità della sua parte superiore, destinato al passaggio del getto di olio polverizzato prodotto dallo spruzzatore. Altri fori vanno

poi aperti, attraverso la copertura metallica superiore ed attraverso l'elettrodo superiore, per accogliere un termometro.

Il bulbo del termometro deve essere sistemato in modo da risultare quanto più possibile distante dal foro capillare fatto nell'elettrodo superiore; la scala del termometro deve anche essere orientata in modo che il getto di olio polverizzato non riesca ad annebbiarla.

Dopo che sia stato completato l'insieme deve essere misurato lo spazio compreso tra i due elettrodi: qualsiasi distanza, comunque, che nel corso della costruzione possa capitare, può andare bene, a patto che sia dell'ordine di un centimetro e che sia uguale in tutti i punti dello spazio.

Quantunque questa distanza non sia affatto critica agli effetti della costruzione e del funzionamento dello strumento, deve essere misurata con la massima precisione possibile, poiché la carica presente sull'elettrone non può essere accertata con una precisione maggiore di quella che è stata adottata al momento del rilevamento della distanza stessa.

Il telescopio ingranditore può essere improvvisato partendo da un microscopio, come può anche essere rappresentato da qualcuno dei cannocchialini di puntamento che esistono in genere sui cannoni, sulle mitragliere e che fanno parte degli impianti di centraline di tiro; in casi come questi, degli ottimi strumenti possono essere facilmente reperiti, in qualsiasi negozio di commercio di materiale surplus o residuato bellico. Perfino una delle due sezioni di un binocolo o qualsiasi strumento ottico, può andare bene, a patto che in esso sia presente un tubo ed un oculare.

La lente obbiettivo deve avere una lunghezza focale dell'ordine dei 50 millimetri, distanza questa che dipende da quella esistente tra la finestrina di osservazione e l'asse del forellino presente nell'elettrodo superiore. Anche la lente di una macchina fotografica formato Leica può andare bene; in quei casi in cui l'obbiettivo abbia una lente di fuoco maggiore, potrà essere ridotto a fuoco minore con l'aggiunta di qualche lente addizionale.

Il diametro della lente che serve da obbiettivo non è critico: qualsiasi combinazione di obbiettivo e di oculare è adatta, purché possa risolvere i raggi di luce riflessi da una sfera specu-

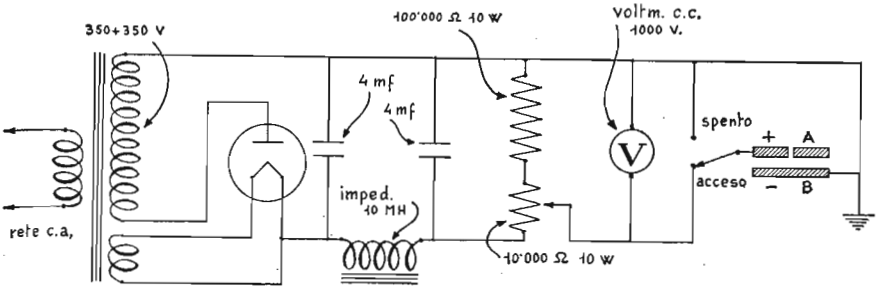
lare avente un diametro di 6 millesimi di millimetro. L'oculare deve anche essere munito di un reticolo che permetta di valutare una distanza verticale di almeno un millimetro, sull'asse del foro fatto nell'elettrodo superiore, in una posizione centrale rispetto ai due elettrodi.

Una volta che il telescopio sia stato adattato e puntato in modo che le goccioline, che cadono nello spazio interno dell'apparecchio attraverso il foro fatto nell'elettrodo superiore, risultino perfettamente a fuoco in esso, il sistema ottico in questione deve essere immobilizzato al suo posto con l'aiuto di una staffa, dopo di che esso va calibrato.

A tale scopo si dispone verticalmente, nell'asse del forellino, un filo rigido ben diritto sul quale siano presenti delle linee sottilissime, accuratamente spaziate, e si annota la posizione di queste righe attraverso il reticolo presente nel cannocchiale allorché si osservano le linee stesse attraverso questo ultimo. La calibrazione in questione deve essere fatta con la massima cura possibile; in commercio presso gli ottici sono d'altra parte disponibili vetrini sui quali si trovano tracciate delle linee perfettamente parallele spaziate di frazioni di millimetro; ad ogni modo, una simile serie di linee può essere realizzata tracciando linee sottili su di una piastra metallica con l'aiuto di un truschino o di altri strumenti per meccanici.

L'energia per la carica dei due elettrodi dell'apparecchio può essere prelevata da un comune alimentatore con raddrizzatore a valvole, a sua volta alimentato con la tensione alternata di rete.

Non sono prodotti di solito condensatori elettrolitici, in grado di sopportare le tensioni dell'entità di quelle in giuoco nel presente apparato ed i condensatori in olio, pur reperibili per tali tensioni, costano delle cifre assai elevate; dato però che la corrente di ondulazione della tensione raddrizzata ed il carico generale presentato dal sistema sono molto bassi, è possibile usare sia pure con qualche precauzione dei condensatori in olio od in carta impregnata, adatti originariamente per una tensione assai inferiore, ad es. 600 volt, e quindi di costo minore, come è anche possibile collegare in serie diversi condensatori elettrolitici adatti per tensione inferiore, tenendo presente che la capacità risulta ridotta; da tale disposizione, due condensatori da



156. Circuito elettrico per l'alimentatore usato nell'apparto di Millikan.

8 microfarad per tensione di 500 volt, collegati in serie, purché entrambi in perfette condizioni ed identici, costituiscono, dopo tale collegamento, un sistema atto a sopportare una tensione di 1000 volt ma avente una capacità risultante di 4 microfarad.

La tensione per il campo tra le due placche metalliche deve essere mantenuta quanto più costante sia possibile, specialmente durante uno degli esperimenti determinanti come anche per le prove preliminari. Questa condizione si attua nel migliore dei modi inserendo un trasformatore variabile, quale un Variac, nella linea di alimentazione. Una resistenza variabile da 10.000 ohm, in serie con un'altra resistenza limitatrice da 100.000 ohm, rappresenta la seconda soluzione in ordine alla qualità. Durante le prove sarebbe opportuno controllare continuamente la tensione di questo campo, mantenendo costantemente inserito sugli elettrodi un voltmetro da laboratorio.

Si eviti di staccare solo la tensione di alimentazione alternata, al momento dell'osservazione delle goccioline in caduta libera; conviene invece adottare, per questo scopo, lo speciale interruttore descritto nello schema. Questo interruttore, interrompe non solo la tensione alternata di alimentazione, ma provvede anche a mettere in corto e collegare a terra le due armature interne alla camera.

Un proiettore per diapositive da 35 millimetri costituisce una sorgente di illuminazione accettabile per questo esperimento quando la disposizione adottata sia quella della fig. 157. Il contrasto tra le zone circostanti e le particelle può poi essere ac-

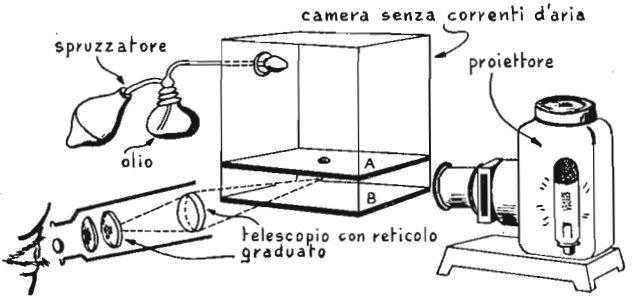
centuato coprendo la parete posteriore della scatola, al livello dello spazio interno alla camera Millikan, con un ritaglio di velluto nero. Le goccioline appariranno così come punti brillanti di luce, sospesi contro uno sfondo nerissimo.

Va fatta a questo punto una raccomandazione: non si deve mai dimenticare che, quando si usa l'apparecchio, si sta lavorando con qualcosa dove è presente una tensione molto elevata e tale da comportare un pericolo mortale per la persona che ne sia investita; bisogna, ad esempio, resistere alla tentazione di tenere la mano sopra od anche in prossimità dell'interruttore generale o qualsiasi altro controllo quando si sta osservando; in più, occorre mantenere a portata di mano durante le osservazioni, un notes, una matita, un cronometro a pulsante ed un buon barometro.

Per fare un esperimento con l'apparecchio, si riempie lo spruzzatore con un olio fluido, non volatile, evitando però l'impiego di olio per orologiai, in quanto questo prodotto contiene di solito sostanze che possono reagire con le materie plastiche quali il plexiglass. Si accerta che la tensione di alimentazione sia distaccata, indi si polverizza il minimo possibile quantitativo di olio, nello spazio della camera superiore dell'apparecchio (un eccesso di olio non avrebbe altra conseguenza se non quella di rendere più frequente la necessità della pulitura dell'apparato), poi si attendono circa 10 minuti. Le goccioline di olio che interessano per l'esperimento si abbassano in caduta libera alla velocità di circa 3 millimetri al minuto, in modo che abbisognano di un apprezzabile intervallo di tempo, prima di percorrere tutto il tratto che si trova nella parte superiore della camera prima di giungere, in numero minimo, al forellino attraverso il quale giungono allo spazio di osservazione.

Nel frattempo può essere tracciata una tabella, basata su quella redatta da Millikan, v. fig. 158. Più tardi si illumina, con il proiettore, la regione della camera al disotto del foro. Quando il telescopio mette in evidenza delle goccioline nel campo di osservazione, si inserisce per un momento la corrente della eccitazione di campo, allo scopo di fare precipitare, eliminandole, quelle goccioline che convogliassero una carica troppo forte.

A questo punto si introducono, nella tabella in corso di pre-



157. Disegno semischematico dell'apparato per la misurazione della carica infinitesimale contenuta in un solo elettrone.

parazione, la temperatura e la pressione della camera. Si applica quindi di nuovo il campo elettrico e si continua la ricerca di una gocciolina che stia sollevandosi lentamente, tenendo presente che questo è possibile solamente quando si ha a disposizione un telescopio munito di gruppo ottico di raddrizzamento della immagine; nel caso che tale gruppo manchi, il movimento della gocciolina in queste condizioni apparirà invertito. Si consente alla goccia di salire di circa un millimetro al disopra di una divisione prescelta, tra quelle del reticolo. Si annota la lettura fatta sulla tabella nella colonna « caduta libera », poi si dà nuovamente corrente al campo elettrico e si misura il tempo del passaggio di ritorno della particella.

Se nel campo sono presenti molte goccioline, può essere alquanto difficoltoso tenere sotto osservazione, tra le altre, proprio quella prescelta, quando la si segue per annotarne il tempo di passaggio; questa difficoltà può comunque essere ovviata, una volta che si sia imparato a fare annotazioni sulla tabella pur mantenendo costantemente lo sguardo nell'oculare dell'apparecchio; altra soluzione potrebbe essere quella di avere a disposizione un aiutante incaricato appunto di fare delle annotazioni mentre l'operatore può concentrarsi sull'osservazione e comunicare ad esso, a voce i rilevamenti via via fatti.

Occasionalmente, una goccia potrà entrare in collisione con uno ione presente nell'interno della camera e subire da questo una variazione della sua velocità: sarà comunque desiderabile

annotare anche un tale rilevamento, salvo ad esaminarlo con maggiore calma più tardi e quindi chiarire la questione. Conviene comunque annotare cinquanta o più rilevamenti, di passaggi, prima di rivolgere l'osservazione ad un'altra goccia.

Perché l'esperimento possa avere un significato, occorre che la goccia entri in collisione con almeno uno ione durante il tempo nel quale si trova in osservazione; maggiore sarà il numero di ioni con cui entrerà in collisione migliore sarà l'attendibilità del rilevamento. Tali collisioni possono divenire via via più rare nelle fasi più tarde dell'esperimento, per il fatto che gli ioni prodottisi per la iniezione dell'olio sotto pressione, tendono a ricombinarsi in atomi stabili ed a diminuire pertanto di numero. Tale esperimento procederà invece più rapidamente se la disponibilità di ioni sarà via via ristabilita irradiando lo spazio compreso tra gli elettrodi, con raggi X. A tale proposito segnaliamo che una semplice ed economica macchina per la produzione di queste interessanti radiazioni, verrà descritta più avanti nella sezione 9ª.

Il gravissimo pericolo esistente quando si operi in vicinanza delle radiazioni X non deve essere trascurato; il tubo per la generazione dei raggi in questione deve essere schermato in un recipiente di piombo, a tenuta perfetta, dello spessore di almeno 3 millimetri. Un foro del diametro uguale allo spazio esistente tra le due armature dell'apparecchio di Millikan va eseguito in quella delle pareti di piombo che risulti più conveniente o, meglio ancora, alla estremità del tubo che fa appunto da schermo per la lampada generatrice.

La radiazione a ventaglio che si irradia da tale foro viene proiettata verso la camera di osservazione attraverso lo spaziatore di plexiglass che risulta opposto a quello dalla cui parte proviene la illuminazione del sistema.

Si raccomanda di stare molto distanti dal complesso a raggi X quando questo sia in funzione; una durata di un secondo o due di accensione della lampada a raggi X sarà sufficiente per la produzione di un buon numero di ioni.

Una volta che siano stati schedati i tempi della caduta libera e della risalita delle particelle, si annoteranno i valori costanti, quali le distanze in centimetri, tra gli elettrodi, la tensione del campo applicato tra le due armature, la densità del-

DISTANZE TRA ELETTRODI	0,7135 centimetri
PERCORSO SALITA O DISCESA	0,145 cent.
POTENZIALE CAMPO ELETTRICO	735 volt
PRESSIONE BAROMETRICA	74,26 cm di mercurio
TEMPERATURA	21,5 gr centigradi
DENSITÀ OLIO	0,893 gr per cc
VISCOSITÀ ARIA	0,0001817

tempo cad. libera secondi	tempo salita con campo in secondi	tempo medio salita in secondi	carica goccia calcolata unità elettros.	numero cariche x goccia	entità carica individuale $10^{10} \times 2$
34,4	28,6				
33,9	28,5				
34,5	28,6				
34,3	28,7				
34,0	29,0				
34,4	29,1				
34,2	29,1				
34,3	28,4				
33,9	28,9				
33,8	29,0				
34,2	29,1	28,77	$4,79 \times 10^{-10}$	1	4,79
	28,6				
	28,7				
	28,3				
	28,6				
	28,7				
	29,1				
	28,9				
	29,0				
	28,6				
	28,8				
	10,1				
	10,2				
	10,5				
	10,3				
	10,2				
	10,2	10,31	$9,45 \times 10^{-10}$	2	4,725
	10,6				
	10,2				
	10,5				
	10,4				
	10,2				
	6,1				
	6,0				
	6,2				
	6,1	6,11	$14,43 \times 10^{-10}$	3	4,81
	6,2				
	6,1				
	6,1				
	4,5				
	4,6				
	4,4				
	4,4				
	4,3	4,47	$18,93 \times 10^{-10}$	4	4,73
	4,5				
	4,5				
	4,6				
	4,4				

158. Tipica tabella di osservazioni e rilevamenti dell'esperimento della goccia di olio di Millikan.

l'olio, ossia il valore reciproco di quello che è il peso di un cubico di tale sostanza, la pressione barometrica, la temperatura e la viscosità dell'aria.

Le operazioni successive si riferiscono a semplici calcoli aritmetici. Per prima cosa si calcola il tempo medio relativo alla caduta di tutte le particelle esaminate e quindi annotate; è da notare a questo proposito che, nella tabella di Millikan, vi è annotazione di 11 sole osservazioni di caduta libera. Questo comunque regge favorevolmente il confronto con il numero di casi di salita delle particelle, osservate per ogni stato di carica delle gocce stesse; tali valori sono pertanto ugualmente abbastanza attendibili. Tutti i casi di salita per ogni stato della carica vengono poi ridotti al valore di media, che quindi viene introdotta nella tabella. La distanza percorsa nella salita e nella discesa, viene quindi divisa per i tempi medi per calcolare la velocità delle goccioline in centimetri per secondo.

Nella tabella di Millikan, il tempo medio di caduta libera per un percorso di 0,145 centimetri, è quello di 34,17 secondi, valore questo che, ridotto all'unità, equivale a quello di centimetri 0.00424 al secondo. Il valore così calcolato viene quindi introdotto come velocità terminale o massima (V), nella formula per il calcolo del raggio della goccia (r), dato nella tabella della fig. 159. Gli altri valori che necessitano per il completamento della tabella possono essere prelevati dalla tabella stessa, e da un testo autorevole quale l'*Handbook of Chemistry and Phisics.*

Il raggio della gocciolina viene quindi calcolato ed introdotto nella formula relativa alla carcia elettrica (q), ugualmente fornita dalla tavola; dopo avere introdotto i valori ancora richiesti dalla formula, viene calcolata la carica per ciascuno dei tempi costanti del sollevamento e viene quindi introdotto anche il suo valore nella tavola, nella colonna « Carica calcolata sulla goccia », che sta anche ad indicare il valore di Unità Elettrostatiche.

Si determina poi la differenza tra ognuna delle cariche schedate, sottraendo ciascuno di questi valori, da quello immediatamente maggiore, per ognuna delle schedature calcolate. Nel corso di queste ricerche, capiterà certamente di incontrare una di queste differenze che risulterà più bassa di tutte le altre. La carica totale di ciascuna goccia sarà espressa da qualche multiplo intero di questo valore minimo di differenza, che dovrebbe

risultare a $4{,}8 \times 10^{-10}$. Dividendo la carica calcolata sulla goccia per questo valore minimo, si otterrà il numero molto approssimato di cariche esistenti sulla goccia, tenendo naturalmente presente l'opportunità di arrotondare il valore al più vicino numero intero, nel caso che quello trovato fosse decimale.

$$r = \frac{\frac{-b}{p} \pm \sqrt{\frac{b}{p^2} + 4\,\frac{9\,V\eta}{2\,g\,(\rho - \rho_m)}}}{2}$$

in cui:

r = raggio della goccia in cm
V = velocità terminale della goccia in cm al sec
g = accelerazione di gravità in cm al sec
ρ = densità dell'olio in gr. al cc.
ρ_m = densità atmosfera in gr. al cc.
η = viscosità dell'atmosfera
b = 0,000617
p = pressione barometrica in cm di mercurio

$$q = \frac{4\,\pi\,r^3\,g\,(\rho - \rho_m)}{3\,E} \cdot \frac{V + V_1}{V}$$

in cui:

q = carica elettronica in unità elettrostatiche
V = velocità terminale verso il basso della goccia in cm al sec
V_1 = velocità terminale verso l'alto della goccia in cm al sec
r = raggio della goccia secondo il calcolo precedente
E = gradiente di elettrificazione del campo in volt al cm
altri simboli con significato come definito in precedenza

159. Formule per il calcolo del raggio e della carica elettrica di una gocciolina di olio dalla velocità alla quale essa si sposta quando viene osservata.

A questo punto, la carica così calcolata per la goccia, viene divisa per il numero delle cariche accertato in precedenza. Tale quoziente, viene inserito nell'ultima colonna della tabella, contrassegnata con la dicitura « Entità della Carica Individuale » e quindi viene confrontata con quella dei più attuali accertamenti per via scientifica di questo valore, della carica sull'elettrone, che è di $4.8029 + 0{,}0001 \times 10^{-10}$, unità elettrostatiche.

Valore scientifico dell'esperimento della goccia di olio

Un'idea sulle conseguenze a largo raggio che accompagnano l'esperimento suggerito dal signor Smith può essere acquisita considerando la sua influenza sulla teoria relativa all'effetto della fotoelettricità. Tutte le sostanze emettono degli elettroni quando sono colpite dalla luce; sistemando un elettrodo negativo molto vicino alla sostanza e collegando, tra questa e l'elettrodo, una batteria si può arrivare a constatare il raggiungimento di un determinato potenziale, che si dimostri sufficiente per bloccare questi elettroni proiettati verso l'esterno della sostanza stessa. Da ricerche condotte, è stato accertato che la tensione citata di bloccaggio dipende solamente dal colore della luce incidente e che determina l'emissione di elettroni, e non invece dalla sua intensità, come a prima vista potrebbe apparire logico.

Einstein spiegava questo comportamento nel 1905 con la ipotesi che tutte le particelle proiettate verso l'esterno, dalla sostanza, avrebbero convogliato una carica costante ed uguale, e che quest'ultima, quando moltiplicata per il valore della tensione di bloccaggio equivale con esattezza al prodotto di una certa quantità « h » (la quale era stata trovata da Plank allo scopo di spiegare il meccanismo della radiazione di energia da un corpo nero), e la frequenza della luce illuminante la sostanza, meno il quantitativo di energia richiesto dalla particella per distaccarsi e rendersi libera dalla sostanza di origine. Questa appariva insensata a moltissimi fisici di quell'epoca, in quanto supponeva che la luce stessa fosse irradiata sotto forma di particelle di una dimensione determinata appunto dalla costante « h » che pareva fosse stata trovata da Plank senza una dimostrazione adeguata. Scriveva Millikan:

> All'epoca nella quale veniva fatta questa predizione di Einstein era audace come l'ipotesi dalla quale essa era derivata, poiché a quel tempo non vi erano disponibili esperimenti adeguati ad accertare qualche cosa sul come il potenziale necessario per bloccare la scarica degli elettroni negativi variava,

con la frequenza della luce o per accertare se la quantità « h », alla quale Plank aveva attribuito un valore numerico ben definito, apparisse in collegamento con la scarica fotoelettrica.

Siamo comunque stati messi di fronte alla sorprendente situazione che, dopo dieci anni di lavori al laboratorio Ryerson, questa equazione di Einstein sembra preannunciare con esattezza tutti i fatti che sono poi stati osservati.

VII.

MACCHINE MATEMATICHE

1. *Una macchina per risolvere indovinelli*
2. *Macchina per giuoco del filetto*
3. *Elementi di teoria dei calcolatori*
4. *Come si progetta un circuito logico*
5. *Un topo elettronico che apprende dall'esperienza*
6. *Calcolatori ed il terrore della matematica*
7. *Le gioie della matematica*

1

UNA MACCHINA PER RISOLVERE INDOVINELLI

Affronta il classico problema del contadino, della volpe, dell'anitra e del granturco ed avverte quando la soluzione è sbagliata.

Coloro che hanno l'abitudine di rovistare in quei negozi di residuati di guerra che trattano articoli elettronici, hanno certo avuto occasione di meravigliarsi del fatto che i rélais usati non siano più abbondanti come prima. Chi si è presa la briga di comprare questi piccoli meccanismi e perché? Una piccola inchiesta permetterebbe di scoprire che la maggior parte di questi componenti sono stati acquistati da entusiasti di questioni scientifiche che si appassionano al nuovo hobby della costruzione di macchine « logiche » ossia di calcolatrici più o meno elementari.

Questa passione mi venne verso l'ora del pranzo qualche mese fa quando vidi un tale che usciva da un negozio di residuati con una bracciata di relais e gli chiesi cosa intendesse farne. « È semplice », disse, « li userò per la mia macchina pensante ». Poi si addentrò in dettagli così complicati che decisi di passar la serata invitando a cena Paul Bezold, un uomo d'affari che da tempo si dilettava ad inventare indovinelli ed ora si divertiva ancor più cercando di tradurli in termini di circuiti elettrici.

« Un mucchio di gente ti dirà che le macchine non pensano » disse Bezold, « e forse hanno ragione. Ma mi sembra che si tratti più che altro del significato che si attribuisce alla parola — pensare —. Alcuni puristi dicono che se anche una macchina può sviluppare dei ragionamenti, non si può dire che essa pensi effettivamente. Sia o no così, io ho costruito diverse macchine che fanno una certa quantità di cose come le fanno gli esseri

umani con il loro cervello e lo stesso hanno fatto altri dilettanti ».

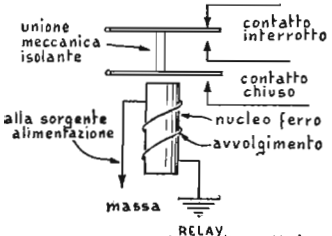
Bezold mette in rilievo che non è necessario essere un mago dell'elettricità per costruire tali macchine, né occorrono conoscenze di matematica superiori all'aritmetica. È semmai di grande aiuto l'essere appassionato di indovinelli ed avere una certa conoscenza con i simboli circuitali che, del resto, si possono imparare in pochi minuti. Forse, la maggior novità per il principiante, sarà rappresentata dall'uso di commutatori, relais, lampadine ed altri elementi circuitali per esprimere parole e relazioni logiche.

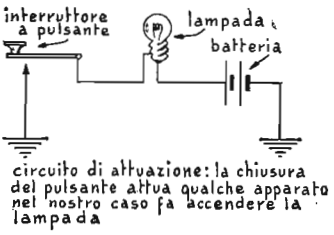
Le due posizioni di un semplice interruttore, per esempio, possono significare assai più che il semplice concetto di « acceso » o « spento ». Possono indicare anche: sì o no, vero o falso, i numeri 1 e 0. Un relais, in fondo, non è che un commutatore perfezionato, azionato elettricamente. Una sua parte è costituita da una sbarretta di ferro dolce su cui sono avvolte delle spire di filo conduttore isolato (fig. 160).

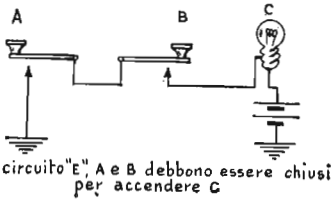
Quando la corrente passa nell'avvolgimento, la sbarretta si magnetizza ed attrae un'altra sbarretta simile, detta armatura. Il movimento dell'armatura viene trasmesso mediante appoggi isolati ad una o più lamine a molle che portano i contatti; sono queste che fanno da interruttori. La corrente passa nell'avvolgimento; i contatti a molla sono comandati dall'armatura e l'interruttore è messo in funzione. Cessando la corrente, tutto torna nella posizione iniziale.

A prima vista può sembrare che, inserire un relais in un circuito, sia il modo più complicato per far funzionare un commutatore. Ma nelle macchine logiche la maggior parte dei commutatori debbono funzionare automaticamente in genere dietro il comando di una corrente che passa attraverso altri commutatori, anch'essi funzionanti automaticamente.

In questo modo, uno o più impulsi in entrata possono percorrere reti complete di relais come una reazione a catena, modificata e condizionata man mano secondo le esigenze del progettista. Questo, per inciso, è il modo di funzionare del cervello umano, in cui i neuroni agiscono in modo molto simile a relais. Nelle macchine logiche, la fine della reazione è sempre la stessa: un circuito di uscita è aperto o chiuso e accende e spegne una







160. Elementi basici circuitali usati nei calcolatori digitali e nelle macchine logiche.

lampada, aziona o ferma un motore, oppure fa funzionare qualche altro dispositivo registratore. Sostanzialmente, la reazione consiste nella manipolazione di relazioni logiche.

Sinora Bezold ha usato solo cinque circuiti fondamentali variandoli e combinandoli in vari modi. « Con essi », egli dice, un dilettante può costruire dei dispositivi automatici per risolvere quasi tutti gli indovinelli che possono essere enunciati verbalmente in modo preciso. Oltre al semplice « sì-no », il costruttore ne abbisogna di uno esprimente la relazione « e ».

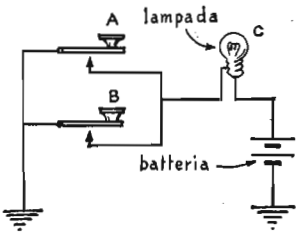
Tale circuito consiste in due commutatori connessi in serie in modo che la corrente deve passare prima per uno, poi per l'altro, affinché il circuito sia chiuso. Il circuito è completo quando entrambi i commutatori A e B vengono azionati (fig. 160).

Parimenti utile è il circuito « o ». Esso è costituito da due commutatori in parallelo, in modo che l'azione anche di uno solo basta a far passare la corrente. Chiudendo il commutatore A o B si stabilisce il collegamento (v. fig. 161 in alto). Il quarto circuito fondamentale corrisponde alla relazione logica condizionale: « se..., allora... » (secondo schema in fig. 161). Esso ri-

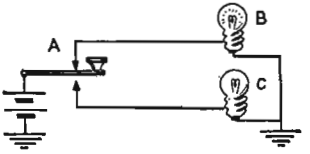
chiede un commutatore a due vie, o di trasferimento, in cui il contatto mobile agisce su due contatti fissi, chiudendo il circuito su uno di essi nella posizione « aperto », e sull'altro nella posizione « chiuso ». Il primo contatto vien chiamato « diretto » o di « chiusura » e viene chiuso azionando il commutatore. Il secondo è chiamato « inverso » o di « apertura » e normalmente fa passare corrente sinché non si agisce sul commutatore, nel quale caso si apre e la corrente viene interrotta. Un relais può portare più gruppi di lamine di contatto di entrambi i tipi. Collegando i contatti « di apertura » e « di chiusura » di un relais agli equipaggi mobili dei relais successivi, il costruttore può realizzare uno schema di distribuzione a piramide di circuiti di traslatori.

Con soli cinque relais, per esempio, un « albero di distributore » del genere può commutare il circuito di entrata su uno qualunque di 32 circuiti di uscita. Ogni altro relais aggiuntivo raddoppia il numero di uscite possibili. Se la macchina deve sviluppare una logica di una qualche complessità, è necessario che abbia una memoria. Ciò si realizza facilmente collegando un contatto « di chiusura » in modo che esso colleghi l'avvolgimento del relais alla sua sorgente di alimentazione quando il relais stesso viene azionato. Perciò, quando il relais viene eccitato da un impulso in arrivo, esso rimane « collegato » dal suo stesso circuito interno.

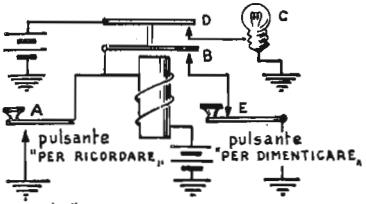
Per far sì che il relais dimentichi, è necessario inserire semplicemente un contatto di « apertura » in serie con il circuito che collega il relais. Di solito questo contatto di apertura è comandato da quella parte della macchina che preleva l'informazione dalla memoria. Dopo che l'informazione conservata è stata trasmessa, il contatto di apertura interrompe il circuito. Il relais ritorna in posizione normale e così « dimentica », preparandosi a ricevere il successivo segnale in arrivo (terzo schema, fig. 161). Bezold ha realizzato, con un certo numero di questi circuiti fondamentali, una macchina che risolve il vecchio indovinello del contadino alle prese con il problema di traghettare attraverso un fiume una volpe, un'oca e un sacco di granturco servendosi di una barca sufficiente solo a portare il contadino ed un solo dei tre oggetti. La volpe non può restare sola con l'oca, né l'oca con il granturco, per ragioni evidenti.



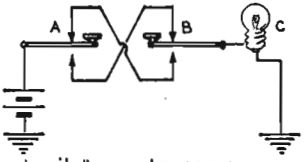
circuito "O": A oppure B possono accendere C



circuito "SE...., ALLORA....": se si preme A, si accende C; se non si preme A, rimane acceso B



circuito "RICORDARE - DIMENTICARE": A chiude il relay; B lo blocca; D accende C; E riporta alle condizioni di partenza

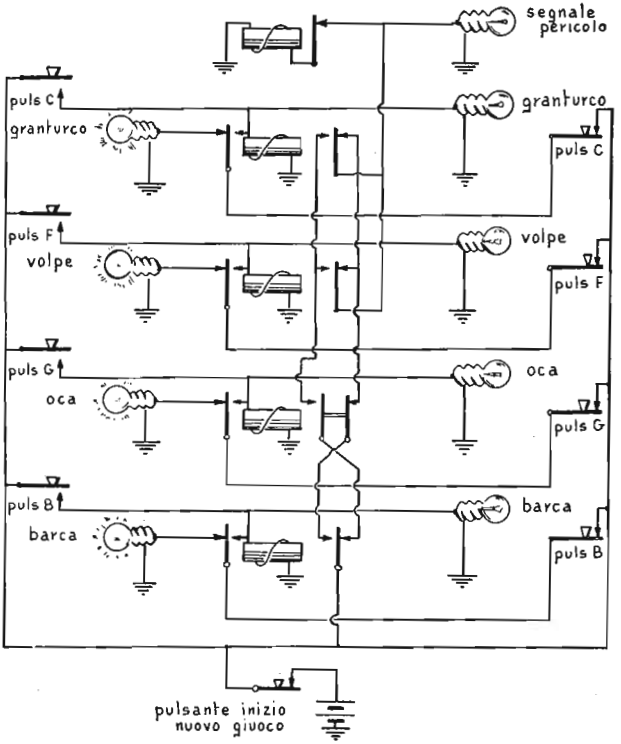


circuito "UNO O L'ALTRO, MA NON ENTRAMBI": A oppure B, azionati separatamente, accendono C; non l'accendono se azionati insieme

161. Elementi circuitali addizionali per i calcolatori digitali e per le macchine logiche.

Il problema è nell'escogitare una combinazione di circuiti che esprima le relazioni logiche poste dal dilemma del contadino e che dia un segnale d'allarme quando la persona che tenta di risolverlo fa un errore. Ognuno dei quattro protagonisti: contadino, volpe, oca, granturco, è rappresentato da un paio di commutatori a levetta, uno per ogni sponda del fiume (v. fig. 162). Premendo la leva corrispondente ad uno dei personaggi, si accende una lampadina dal lato opposto, a segnalare che esso ha attraversato il fiume. Ad ognuno, inoltre, corrisponde un relais.

L'analisi delle proposizioni logiche rivela quale forma debba avere il circuito di commutazione. Innanzi tutto si ha una situazione sicura quando il contadino e l'oca sono insieme, come quando l'oca è sola. Succedono invece guai quando l'oca è con la volpe o con il granturco o con entrambi. È chiaro che bisogna



162. Circuito logico per il giuoco del contadino, dell'anatra, della volpe e del granturco.

far attenzione all'oca. Il contadino e l'oca hanno funzioni opposte, l'uno garantisce la tranquillità, l'altra invece fa nascere guai. Perciò essi agiscono come una coppia di commutatori o di relais, uno opposto dell'altro, cioè uno funzionante in apertura, l'altro in chiusura.

Anche la volpe ed il granturco possono essere fonte di guai; perciò i relais che li rappresentano debbono essere dello stesso tipo di quello dell'oca.

Poniamo ora che al contadino venga assegnato un relais del tipo « di chiusura ». In termini logici esso corrisponde a « non contadino »: i suoi contatti si chiudono quando il contadino at-

traversa con la barca il fiume, sicché i simboli del contadino e della barca possono essere coincidenti.

Di conseguenza, agli altri tre elementi, dovrà essere assegnato un relais « di apertura ». Come dovranno essere collegati i relais? La situazione è sempre calma quando è presente il contadino; si fa pericolosa quando il contadino è assente e l'oca è presente e (insieme) è presente anche la volpe o il granturco. Dunque il relais del contadino dev'essere in serie (circuito « e ») con quello dell'oca. Per indicare le opposte funzioni del contadino e dell'oca, le connessioni fra i due relais sono incrociate.

Il relais dell'oca, a sua volta, è connesso in serie con un lato di un collegamento in parallelo (circuito « o ») fra i relais della volpe e del granturco. Collegando una lampadina e una pila in serie con questo circuito, non succede nulla fino a quando il relais del contadino con la barca non viene azionato, per indicare che egli ha traversato il fiume, nel qual caso l'energia viene trasferita dal contatto « di apertura » a quello « di chiusura ».

Ma allora, il circuito si chiude attraverso i contatti di riposo, tutti chiusi, che rappresentano l'oca, la volpe e il granturco. La lampadina si accende ad indicare pericolo.

Questa è la situazione sulla sponda di partenza del fiume. Per rappresentare ciò che accade sull'altra riva, è necessario un secondo circuito che funzioni in senso opposto rispetto al primo. Ciò si ottiene con una serie di contatti « di chiusura », cioè che si chiudono quando quelli « di apertura » del primo circuito si aprono.

Esaminando l'intero schema del circuito (con tutti i contatti sulla destra della fila di relais indicati in fig. 162) si vede che il loro funzionamento contemporaneo si accorda perfettamente con tutte le condizioni logiche dell'indovinello e corrisponde esattamente ad ogni combinazione di eventi rientranti nei limiti logici della situazione.

Questa parte della macchina di Bezold potrebbe esser costruita con quattro semplici interruttori a levetta e corrispondenti gruppi di contatti a due vie. Ma un dispositivo del genere non sarebbe molto comodo come giuoco di società perché il giuocatore dovrebbe azionare l'interruttore del contadino ed uno degli altri tre nello stesso istante, altrimenti si accenderebbe il segnale di pericolo.

Per questo Bezold ha realizzato uno strano aggeggio in cui ogni relais funziona da elemento di memoria. Egli confessa che l'uso apparentemente stravagante dei contatti in quest'affare darebbe fastidio ad un progettista di circuiti di commutazione. Ma egli spiegava che: « i contatti in più che compaiono sul lato sinistro esistevano già sul relais e perciò li collegò nel modo illustrato, giusto per il gusto di farlo ».

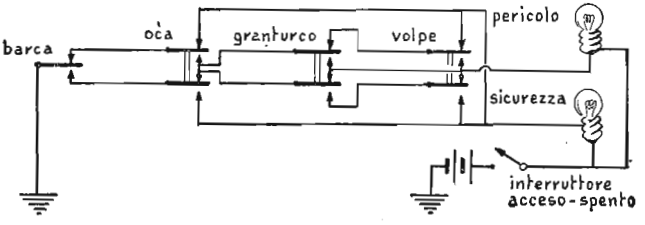
Si può realizzare una variante interessante del circuito logico costruito da Bezold, capace di segnalare un errore dovuto ad un guasto nell'interno della macchina stessa.

La disposizione di Bezold segnala un effettivo pericolo con l'accensione della lampadina e con il suono di un vibratore quando, per esempio, l'oca e il granturco vengono a trovarsi soli su una delle due rive del fiume.

Ma ciò avviene solo se la macchina funziona regolarmente. Il pericolo non viene segnalato se la lampadina è bruciata e la pila è scarica. Tutte le macchine sono soggette a guasti di questo tipo, e, nel caso delle grandi calcolatrici usate per risolvere problemi scientifici, o nel caso di aerei in navigazione automatica o di missili guidati, errori del genere possono condurre a gravi conseguenze.

Per fortuna, non è difficile costruire calcolatrici « autocontrollate » capaci di individuare i funzionamenti irregolari nel loro interno. Nel caso della macchina per il problema del traghetto dell'oca - volpe - granturco, la caratteristica autocontrollante può essere data dall'aggiunta di altri due circuiti, ognuno complementare dei due utilizzati nella macchina di Bezold.

Il secondo paio però, funziona in senso inverso, rispetto al



163. Giuoco del contadino - anatra - volpe - granturco munito di dispositivo di autocontrollo.

primo. In sostanza, per ogni gruppo di contatti « di chiusura » del primo paio, corrisponde un gruppo di contatti « di apertura » come indicato nello schema in fig. 163.

Una seconda lampadina di segnalazione è collegata tra questi due circuiti, come indicato nello schema. L'una o l'altra lampadina deve accendersi per ogni posizione dei commutatori, altrimenti è segno che la macchina non funziona bene. In altre parole, la macchina dice esplicitamente se la situazione è di pericolo o no. L'apparecchio può essere costruito con una minima spesa per l'acquisto di quattro doppi commutatori a leve, due piccole lampadine ed una pila.

2

MACCHINA PER GIUOCO DEL FILETTO

Noel Elliot, dilettante di Kellogg nell'Idaho, discute sull'apparecchio da lui stesso costruito.

Nel progetto, questa macchina rassomiglia da vicino a quello di tutti i dispositivi calcolatori elettrici, sebbene si presenti su di una scala assai più semplice della maggior parte di essi. L'apparecchio può « ricordare », calcolare ed anche trasferire delle informazioni da una sezione all'altra del suo circuito.

Il calcolo ed il trasferimento, comunque, interviene non appena la informazione viene ricevuta e non dopo un certo intervallo di tempo, come accade in un calcolatore di grandi dimensioni. Ciò è possibile a causa della semplice natura delle informazioni sulle quali si opera.

L'operatore informa la macchina della mossa da lui eseguita, facendo scattare un interruttore apposito e la macchina, dopo avere provveduto ai propri calcoli, esegue la sua mossa di risposta facendo accendere una lampada nel punto appropriato del campo di giuoco.

La macchina presenta due funzioni fondamentali: quella di impedire al suo avversario di occupare tre spazi in fila come anche quella di impedirgli la preparazione di una « forchetta », pericolo questo della occupazione di tre spazi su due linee diverse alla mossa successiva. Il lavoro di progettazione della macchina ebbe inizio dalla elencazione e dalla classificazione di tutte le mosse possibili, per i due giuocatori, ossia per l'uomo, e per la macchina.

Poiché nel campo di giuoco del filetto vi sono nove caselle, ovviamente vi sono nove possibili prime mosse. Le mosse poi possono essere di tre tipi: centrali, angolari e laterali. Le statistiche vengono ora in aiuto dimostrando che la migliore mossa per contrastare una prima mossa di tipo centrale è quella angolare mentre per contrastare ogni mossa di apertura verso l'esterno, la mossa adatta è quella centrale.

Il circuito che mette in atto una tale strategia, consiste di interruttori con funzione di alternativa in tutte le posizioni verso l'esterno e di collegamento diretto tra l'interruttore centrale ed una lampada in uno degli angoli.

Dopo che sia stata effettuata la mossa di apertura ed a questa sia stata data la risposta, il giuocatore « uomo » ha a disposizione una scelta di sette possibili spazi da occupare. Ciò significa che per le prime due mosse ha a disposizione un totale di 63 combinazioni (9 possibilità per l'apertura per 7 possibilità per la mossa successiva).

Le risposte del giocatore « macchina » a queste mosse, sono eseguite su di un circuito di addizione, con la corrente erogata dalla batteria e fatta scorrere attraverso l'interruttore della prima mossa ed attraverso quello della seconda mossa, in direzione della lampada.

I circuiti che rispondono alle mosse successive sono progettati nello stesso modo, sebbene in alcuni di essi, occorre che siano presi accorgimenti per evitare di stabilire circuiti doppi, che potrebbero determinare l'accensione di più di una lampada. Inconvenienti di questo tipo possono essere evitati munendo il circuito con dei relais di memoria, intercollegati in modo che il funzionamento di un interruttore apra automaticamente il circuito di un altro che potrebbe altrimenti interferire.

3

ELEMENTI DI TEORIA DEI CALCOLATORI

Le macchine per indovinelli non sono semplici aggeggi di passatempo; offrono infatti notevoli introspezioni nei problemi della matematica e sul funzionamento dei calcolatori digitali.

Né Bezold né Elliot avevano costruito una vera macchina calcolatrice digitale; queste infatti avrebbero richiesto un apparato eccessivo per le possibilità economiche di qualsiasi dilettante, se la loro capacità di conteggio fosse andata appena al disopra di numeri di due cifre.

Comunque, Bezold aveva messo effettivamente insieme dei piccoli circuiti per l'esecuzione delle operazioni fondamentali di aritmetica. Una serie di relais muniti di contatti di trasferimento ed autobloccanti, può essere per esempio collegata in modo da dare luogo ad un insieme in grado di contare degli impulsi.

Due relais sono necessari per ciascuna cifra. Un impulso, determinato con una temporanea connessione a terra del sistema, attraversa i contatti di trasferimento del primo relais ed eccita la bobina del secondo della serie.

Il secondo relais si autoblocca ed al tempo stesso invia corrente ad un conduttore che è collegato con la bobina del primo relais. Ma poiché anche i contatti di trasferimento del primo relais sono collegati a questo conduttore, collegando questo a terra durante l'impulso, nessuna corrente può entrare nella bobina del primo relais.

Quando la connessione a terra viene rimossa, cioè al termine dell'impulso, il primo relais scatta, si blocca e pertanto trasferisce la connessione alla successiva coppia di relais, dove il secondo impulso in arrivo determina la ripetizione del ciclo di operazioni ora descritto.

La serie di coppie di relais può essere aumentata indefinitivamente in funzione identica al numero di impulsi che interessa contare. Uno o più contatti di interruzione possono essere inseriti lungo la linea, allo scopo di sbloccare le coppie di relais che erano state azionate in precedenza.

Due relais possono anche essere collegati in modo che essi rispondano alternativamente agli impulsi che pervengono a tale sistema: in esso, gli impulsi determinano il bloccaggio del relais che trovano aperto ed all'apertura di quello che trovano bloccato per cui, gli impulsi in arrivo finiscono con l'azionare alternativamente i due relais, con una oscillazione simile a quella di un'altalena. Una tale coppia di relais ha l'effetto di dividere per due, ossia di spartire equamente tra i due relais, il numero di impulsi che ad essa perviene. Come i relais delle serie a contatore, anche queste coppie possono essere raggruppate in cascata, in modo che ciascuna divida a metà il segnale che le perviene da uno qualsiasi dei relais della coppia precedente.

Tali circuiti, cosidetti « flip-flop », trovano vastissima utilizzazione nelle macchine calcolatrici ed, in particolare, in quelle che operano sul sistema binario in cui tutti i valori numerici sono espressi non dai 10 segni aritmetici ma da appropriate combinazioni di due soli segni, quali l'1 e lo 0. Nella matematica binaria la somma di 1 +1 dà, come risultato, 0 con il riporto di 1. Il primo relais, di una coppia collegata a « flip-flop » simboleggia il valore elementare binario; se, quando giunge l'impulso dall'esterno, esso contiene uno di questi valori unitari, il circuito scatta appunto come un bilanciere, rimettendo così il primo relais nelle condizioni di riposo vale a dire di 0.

Il secondo relais invia allora un impulso alla coppia di relais immediatamente successiva di cui il primo relais scatta ed accantona un'informazione elettrica corrispondente al valore unitario ed elementare 1. In queste condizioni le due serie o coppie di relais si trovano nello stato di 10, dato che nella prima coppia abbiamo attivato il relais dello 0 e nella seconda è attivato quello dell'1: il valore 10, in aritmetica binaria ha appunto il significato di 2. La macchina ha pertanto eseguito, in poche parole, una vera addizione: la sua capacità di sommare è pertanto limitata solamente dal numero di coppie di relais che la compongono.

La progettazione e la costruzione di questi interessanti aggeggi interessa l'antico fascino dei giuochi cosiddetti rompicapo, con quello dell'esecuzione di alcuni montaggi di circuiti elettrici. Coloro che si sono già orientati in questa attività dilettantistica, sono stati pronti a precisare però che la soddisfazione offerta da queste macchine va ben al di là della realizzazione di qualche giocattolo ingegnoso. È possibile grazie ad essa compiere una introspezione della natura intima dei giuochi basati sulla teoria delle probabilità i quali a loro volta agiscono come potente stimolo per la fantasia.

La teoria delle equazioni, la topologia, il calcolo infinitesimale e quello delle probabilità, come Edward Kasner e James R. Newman affermano nel loro libro *Matematica ed Immaginazione*, sono derivati da problemi espressi da principio, nella forma di indovinello.

Essenzialmente la soluzione di gran parte degli indovinelli interessa la scoperta della relazione logica esistente tra i termini presentati o che sono nascosti a loro volta sotto un ingegnoso schema destinato a creare confusione direttamente oppure, a sua volta, alquanto ambiguo.

La soluzione può essere resa più semplice provvedendo, per prima cosa, a riproporre l'indovinello in termini più accettabili o più prossimi a quella che deve esserne la soluzione. Fatto questo, certe parole di solito appaiono in evidenza, quali, « e », « oppure », « sì », « no », « uno o l'altro, ma non entrambi», « ma non ». Tali parole possono essere rappresentate da schemi di interruttori elettrici, relais, diodi, ed altre parti che comunemente ricorrono nei circuiti di commutazione.

I primi passi nella progettazione di un circuito da indovinelli consiste dunque nel formulare il giuoco stesso, in termini più facili, disponendo i vari elementi in una successione logica e sostituendo, alle parole fondamentali sopra elencate ed, eventualmente, ad altre ancora, a degli elementi elettrici, in grado di operare applicando lo stesso concetto che esse esprimono, nel modo seguente.

4

COME SI PROGETTA UN CIRCUITO LOGICO

Harry Rudloe, di New York, descrive tre circuiti di questo genere, da lui progettati all'età di 16 anni. Il primo di essi è il giuoco della « Battaglia dei Numeri ».

Il primo progetto che tentai era quello dello schema di un circuito che rappresentava elettricamente il giuoco della « guerra dei numeri ». Quando questo giuoco viene condotto nella maniera convenzionale, i due avversari a turno prelevano da un mucchietto in cui vi sono originariamente 13 fiammiferi alcuni di questi: ogni giuocatore può prelevare a sua scelta uno, o due o tre, di questi; è dichiarato perdente del giuoco colui che è costretto a raccogliere l'ultimo fiammifero rimasto sulla tavola.

Nella mia macchina i 13 fiammiferi sono sostituiti da altrettante lampadinette, disposte in fila, v. fig. 164. Interruttori a pulsante controllano l'accensione delle lampade stesse. Al principio del giuoco, tutte e 13 le lampade di esso sono accese. L'avversario del giuocatore « macchina » apre il giuoco, facendo scattare un interruttore che assegna a lui od alla macchina la prima mossa.

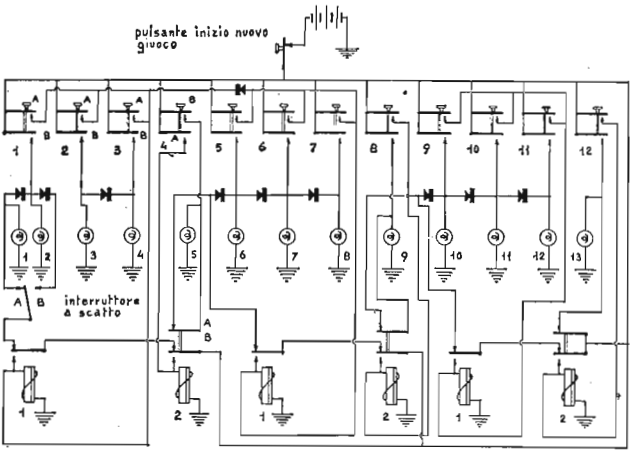
Il giuocatore fa la sua mossa premendo il bottone che fa spegnere il numero di lampade da lui prescelto, ossia quella che lui sceglie e tutte quelle che si trovano alla sua sinistra; una volta che egli ha ultimato questa operazione, la macchina registra la sua mossa.

Una più attenta analisi del giuoco svela che la vittoria può essere forzata dal giuocatore che fa la seconda mossa. Si considerino le prime 12 lampade, da sinistra a destra, come se si trattasse di tre gruppi di quattro lampade ciascuno: dopo che il primo giuocatore, ha spento una o due o tre delle lampade,

il secondo giuocatore spegne l'ultima lampada del secondo gruppo e non può mancare di vincere poiché la tredicesima lampada rimarrà accesa anche dopo che tutte le lampade dei rimanenti tre gruppi saranno state spente in questa successione.

Così, se la macchina è progettata con un dispositivo interno che la metta in condizioni di seguire le istruzioni di questa pur semplice strategia, essa vincerà sempre, tutte le volte che il suo avversario, ossia l'uomo avrà fatta la prima mossa. Essa vincerà anche quando sarà stata costretta a compiere la prima mossa se il suo avversario mancherà di inquadrare bene la tattica da adottare per vincere ed anche se questi continuerà il suo giuoco senza più compiere alcun errore. Se qualcuna delle lampade in un gruppo rimarrà accesa dopo che l'avversario avrà compiuta la sua mossa, la macchina trarrà inevitabilmente vantaggio da questa condizione. L'avversario può vincere solamente ove abbia l'occasione di fare la seconda mossa e naturalmente conduca il giuoco senza compiere alcun errore.

Ogni gruppo di quattro lampade è controllato da un circuito identico a quello degli altri. Qui, lo schema indica con le lettere A e B, alcune delle possibili mosse di apertura. Si consideri ad esempio, dapprima, un giuoco nel quale sia la macchina a vincere. L'interruttore a scatto è stato portato nella posizione A,



164. Circuito elettrico per il giuoco della « battaglia dei numeri ».

indicando che è il giuocatore che compie la prima mossa. Questi può allora spegnere, in questa prima mossa, una o due o tre lampade azionando naturalmente il primo od il secondo, od il terzo degli interruttori a pulsante. La molla A di contatto sul pulsante azionato trasmette un impulso al relais 1 associato al gruppo 1. Il relais si blocca perché il suo avvolgimento riceve alimentazione attraverso il contatto inferiore da questa molla (collegata alla batteria attraverso il contatto superiore e la molla del relais 2 del gruppo 1). Ciò ha come effetto quello di interrompere la tensione di alimentazione ad alcune delle lampade del primo gruppo di quattro. La lampada collegata con il pulsante e quella alla sinistra di essa si spengono mentre rimangono accese quelle alla destra del pulsante.

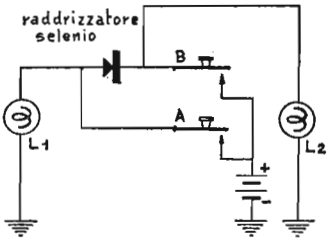
Occorre osservare che gli elementi che presiedono alla condizione « ma-non » in cui sono utilizzati dai raddrizzatori del tipo a secco, al selenio, collegati nella maniera illustrata nella fig. 165, sono inseriti tra ogni paio di lampade di ciascun gruppo. Il contatto B del pulsante trasmette ora l'alimentazione alle lampade alla destra del pulsante ma non a quelle situate alla sinistra di questo.

Ciò completa il giuoco dell'avversario della macchina: egli ora lascia andare il pulsante che aveva premuto al che ha inizio la porzione di giuoco relativa alla macchina. Il contatto B si apre, interrompendo l'alimentazione dal circuito alternativo della condizione « ma-non » a tutte le restanti lampade del gruppo. Ciò registra la mossa della macchina.

Si consideri a questo punto un giuoco nel quale si vuole che la macchina perda. L'interruttore a scatto viene portato nella posizione B: ciò interrompe la corrente di alimentazione dalle prime due lampade e rappresenta la prima mossa fatta dalla macchina. L'avversario guadagna allora il vantaggio di premere il bottone 4 spegnendo così le due lmpade rimanenti di questo gruppo.

La molla di contatto A di questo pulsante trasmette un impulso all'avvolgimento del relais 2 del gruppo 1 ed, il relais stesso si blocca attraverso il suo contatto inferiore, per mezzo dell'energia di alimentazione fornita ad esso attraverso la lamina B.

La lamina B del relais 2 agisce come elemento atto a creare



165. Elementi circuitali che simbolizzano la situazione « ...ma non... ».

la condizione « l'uno-oppure » che fornisce alimentazione al primo gruppo di quattro lampade oppure al suo contatto di bloccaggio. Ciò impedisce all'alimentazione di penetrare nel primo gruppo di lampade per il restante tempo del giuoco. La lamina A sul relais 2 interrompe l'alimentazione dalla prima lampada del secondo gruppo di quattro. La lamina di contatto B sul pulsante 4 continua a fornire, a questa lampada, la tensione di alimentazione, sino a quando il pulsante non viene lasciato andare.

La macchina potrebbe anche essere progettata in modo che questo giuoco determinasse lo spegnimento della prima o della seconda o della terza lampada del gruppo 2: non potrebbe però afferrare il vantaggio da ciascuno di questi giuochi. Pertanto, nell'interesse di mantenere quanto più semplice fosse possibile il circuito decisi di limitare la possibilità di scelta di giuoco da parte della macchina alla prima lampada.

Questa tattica consente inoltre al giocatore la massima scelta di sistemi di giuoco ed anche la massima possibilità di commettere qualche errore. L'avversario può allora conservare il suo vantaggio azionando il pulsante 8, che ha per effetto quello dello spegnimento delle lampade del secondo gruppo rimaste ancora accese. A questa mossa, la macchina risponde facendo spegnere la lampada 9. Il giuocatore, allora, aziona il pulsante 12 spegnendo tutte le lampade rimanenti dell'ultimo gruppo e costringendo la macchina a spegnere l'ultima lampada, ossia la n. 13, che decreta la sua sconfitta. Nessuno dei miei amici ha mai scoperto la semplice strategia di questo giuoco sebbene alcuni di quelli che si erano cimentati nella partita contro la macchina avessero vinto, per caso.

Altri due rompicapo del tipo dell'attraversamento del fiume, più complessi

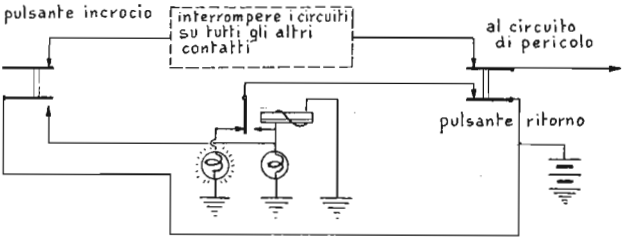
Nel 16° secolo Niccolò Tartaglia, inventore e matematico italiano, suggeriva una nuova ed alquanto elaborata versione del famoso rompicapo del contadino, dell'oca, del granturco e della volpe. Secondo la sua versione, tre mariti gelosi e le loro belle mogli dovevano attraversare il proverbiale fiume, su di una barchetta che poteva accogliere due persone al massimo. Ciascuno dei mariti insisteva che la traversata avrebbe dovuto essere preparata in maniera che la propria moglie non dovesse mai risultare in compagnia di altri uomini, qualora anche il marito non fosse stato presente.

Un circuito che rappresenti la situazione citata viene sviluppato seguendo le stesse norme fondamentali ed elementari della logica simbolica, come nel problema più semplice del contadino che doveva traversare il fiume. Gli amici potranno certamente trovare più interessante il giuoco se voi provvederete delle lampade di segnalazione destinate ad indicare la posizione di ciascuno dei personaggi del giuoco, man mano che questo progredisce.

Un circuito conveniente per ottenere questo scopo prevede l'impiego di un relais munito con contatti frontali e posteriori (in una disposizione del tipo « l'uno-oppure ») ed un paio di pulsanti bipolari a scatto singolo, in una disposizione illustrata dalla sinistra dei relais nella fig. 162 e nella forma semplificata in fig. 166.

Il circuito di trasferimento è identico per tutti i personaggi in questo come nell'altro giuoco. Tutte le lamine di contatto si immaginano collegate alla batteria, eccezion fatta per quei casi in cui sia indicato altrimenti.

Il funzionamento del pulsante « traversata », chiude il contatto inferiore del relais e così alimenta la bobina del relais stesso. L'armatura si blocca, attraverso il contatto di fondo del pulsante di ritorno. In effetti, la disposizione costituisce una specie di circuito di memoria e risparmia al giuocatore la necessità di tenere a mente o di annotare i suoi movimenti, oppure di ricostruire la sequenza dei movimenti stessi, esaminando la posi-



166. Circuito conveniente per registrare il trasferimento di una azione.

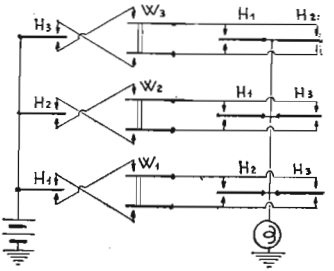
zione dei vari interruttori a scatto (o dei relais, ove questi siano usati per creare il circuito di errore). I contatti « interruzione » di tutti i pulsanti possono essere collegati in serie, per fornire alimentazione al circuito dell'errore.

Quando il giuocatore desidera inviare due dei personaggi attraverso al fiume, aziona il pulsante corrispondente ad uno dei personaggi e, prima di lasciarlo andare, preme anche il pulsante corrispondente all'altro personaggio.

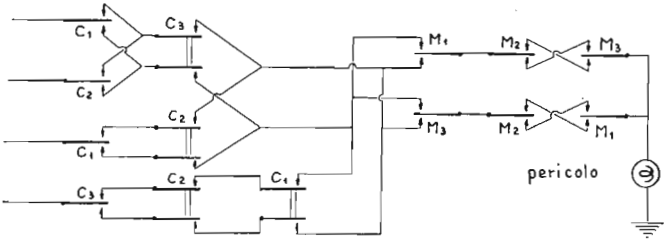
L'alimentazione viene così impedita di entrare nel circuito di errore, sino a quando l'intera mossa non sia stata portata a termine.

Come nel problema del contadino, dell'oca, della volpe e del grano, il circuito di errore opera quando uno qualsiasi dei mariti si trovi sulla riva del fiume opposta a quella dove si trova la propria moglie e se essa si trova in presenza di uno o di entrambi gli altri due mariti.

La sezione logica è quella illustrata nella fig. 167. Per quanto nello schema manchi l'illustrazione delle connessioni meccani-



167. Circuito completo del giuoco dei « mariti gelosi ».



168. Circuito elettrico del giuoco dei cannibali e dei missionari; la batteria si collega ai contatti, senza connessione, dei commutatori C_1, C_2, C_3, alla estrema sinistra.

che, è sottinteso che tutti gli interruttori che si riferiscono allo stesso personaggio del giuoco, ad esempio H1, ossia al primo marito, sono fatti funzionare all'unisono e nella stessa direzione.

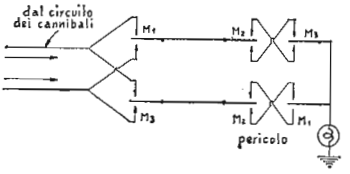
Essi possono pertanto essere collegati meccanicamente, mediante levette o tiranti, come anche elettromagneticamente, nel qual caso debbono essere rappresentati da relais dotati di molti contatti nelle due direzioni di movimento dell'ancoretta. Per semplicità gli avvolgimenti sono stati omessi nello schema allegato.

In una versione ancora più complessa dello stesso concetto di giuoco, i mariti e le mogli divengono missionari e cannibali, pur restando in numero di 3 e 3 come nel giuoco precedente; anche questa volta, abbiamo lo stesso fiume da attraversare e la stessa barchetta in grado di accogliere un massimo di due persone; le cose sono poi complicate dal fatto che mentre tutti e tre i missionari, sono in grado di remare, uno solo dei cannibali lo può.

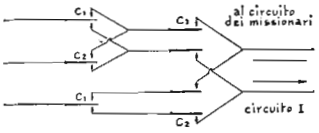
Se in qualsiasi momento il numero dei cannibali, sia da un lato, come dall'altro, del fiume, supera il numero di missionari che si trovano dalla stessa parte, vi è il pericolo certo che qualcuno di questi ultimi vada ad occupare la pentola, sempre pronta al centro del villaggio.

Il superamento del numero dei missionari può determinarsi in queste combinazioni: 3 a 2, 3 ad 1, 2 ad 1.

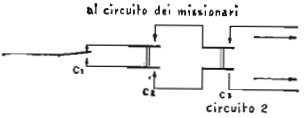
Il circuito completo di logica è illustrato nella fig. 168; il suo funzionamento è più facile da seguire se si divide in tre parti il circuito stesso e si esaminano le parti stesse, una alla volta.



169. Configurazione circuitale della sezione del giuoco che rappresenta i missionari.



170. Configurazione circuitale della sezione del giuoco che rappresenta i cannibali; visibile la presenza e la posizione di due personaggi.



171. Configurazione circuitale della sezione del giuoco che rappresenta i cannibali; visibile la presenza e la posizione di tre personaggi.

La disposizione dei missionari, v. fig 169, si troverà nelle condizioni di registrare un errore quando i circuiti appropriati dei cannibali saranno chiusi, allorché due dei missionari stessi si troveranno sulla riva opposta a quella dove si troverà l'altro. Il circuito 1 (fig. 170) diviene conduttore quando due o tre dei cannibali sono su un lato del fiume; tale circuito precisa poi anche su quale delle due sponde del fiume essi si trovino.

Il circuito 2, fig. 171, indica similmente quando tutti e tre i cannibali sono sulla stessa riva del fiume e precisa anche su quale. Nella combinazione, le tre disposizioni registrano tutte le possibili situazioni di errore: 1) quando tutti e tre i cannibali si trovano sulla stessa parte del fiume, con due qualsiasi dei missionari; 2) quando due qualsiasi o tutti e tre i cannibali si trovano sulla stessa riva del fiume con un solo missionario.

5

UN TOPO ELETTRONICO CHE APPRENDE DALL'ESPERIENZA

Harry Rudloe descrive questa sua variazione al ben noto robot di Claude Shannon. Il topo di Rudloe potrebbe dirsi difficilmente una creatura pensante, ma esso permette di dimostrare come, con pochi utensili a mano e qualche parte di ricupero, il dilettante può progettare e costruire una macchina capace di esercitare un'abilità di scelta, nonché di mettere a profitto le esperienze precedenti.

Dopo avere costruita una grande varietà di giuochi e di rompicapo dotati di dispositivi interni atti ad imitare una sorta di intelligenza, mi interessai al problema della progettazione di una macchina in grado di apprendere dall'esperienza e di applicare le cognizioni acquisite in precedenza, per evitare di commettere successivamente degli errori.

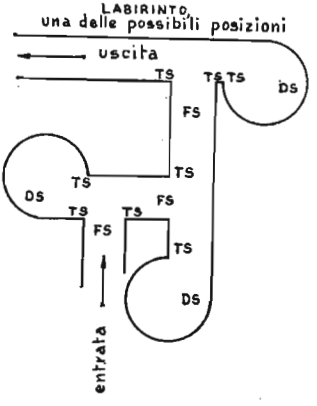
Il famoso « topo » di Claude Shannon che studia il percorso di un labirinto ed impara come evitarne i vicoli ciechi, dopo averli visitati una volta ed avere appreso che erano percorsi errati, mi aveva affascinato ed avevo deciso di realizzare da solo qualche cosa che lo rassomigliasse.

Il topo di Shannon consiste di un semplice magnete inserito in una copertura modellata appunto nella forma di un topo e munito di « baffi » in filo di ottone che collegano elettricamente a terra il topo, attraverso il contatto di essi con le pareti di ottone dei vari percorsi del labirinto. La figurina viene mossa da altri magneti nascosti al disotto del labirinto; il « cervello » è situato all'esterno del labirinto vero e proprio.

Quello che io volevo era un topo contenente tutto quanto lo riguardava e che contenesse quindi anche il proprio « cervello », anche se questo dovesse significare che la figurina da realizzare

doveva risultare di dimensioni assai maggiori di quelle di un vero topo.

Non potei trovare pubblicata alcuna notizia relativa al topo di Shannon ma dopo avere consultato alcuni libri sui sistemi di commutazione, riuscii finalmente con successo nella progettazione e nella costruzione di una specie di topo che poteva apprendere qualsiasi percorso di labirinto, con le seguenti proprietà: 1) il corretto passaggio conduce ad un bivio; 2) ogni bivio conduce a due passaggi uno dei quali è cieco, ossia senza uscita; 3) non vi sono più di tre bivii e quindi, altrettanti passaggi ciechi, v. fig. 172.



172. Labirinto per il topo artificiale, visibili posizioni dei contatti sensori: DS = Sensori di passaggio impedito; TS = Sensori di deviazione; FS = Sensori di bivio. I contatti a terra sono omessi per semplicità.

L'ultima limitazione era stata imposta alle mie velleità di progettazione e di costruzione dalle dimensioni del mio portafogli, in quanto il costo generale aumenta con la complessità del percorso e con il necessario, corrispondente, aumento della capacità intellettiva e di memoria dell'animaletto meccanico.

Il costo generale rese anche impossibile che tutte le sezioni circuitali del robot fossero contenute in esso; per questo io stesso, come aveva fatto Shannon, mi risolsi a lasciare fuori dal robot e dal labirinto il sistema di alimentazione ed il sistema intellettivo del topo.

Il topo viene azionato da due motori, ciascuno dei quali aziona una delle due ruotine anteriori, come illustrato nella fig. 173.

La sua parte posteriore è sostenuta da due pattini di contatto che scorrono su di una coppia di strisce metalliche elettricamente isolate tra di loro applicate lungo il pavimento dei vari percorsi del labirinto, realizzato quindi in materiale isolante.

Una delle due strisce fornisce corrente ad uno dei motori; il secondo motore prende invece la sua alimentazione attraverso una specie di trolley, fissato al soffitto dei corridoi del labirinto. Le informazioni sono trasmesse dal cervello a questi « muscoli » rappresentati dal motore, attraverso le strisce conduttrici.

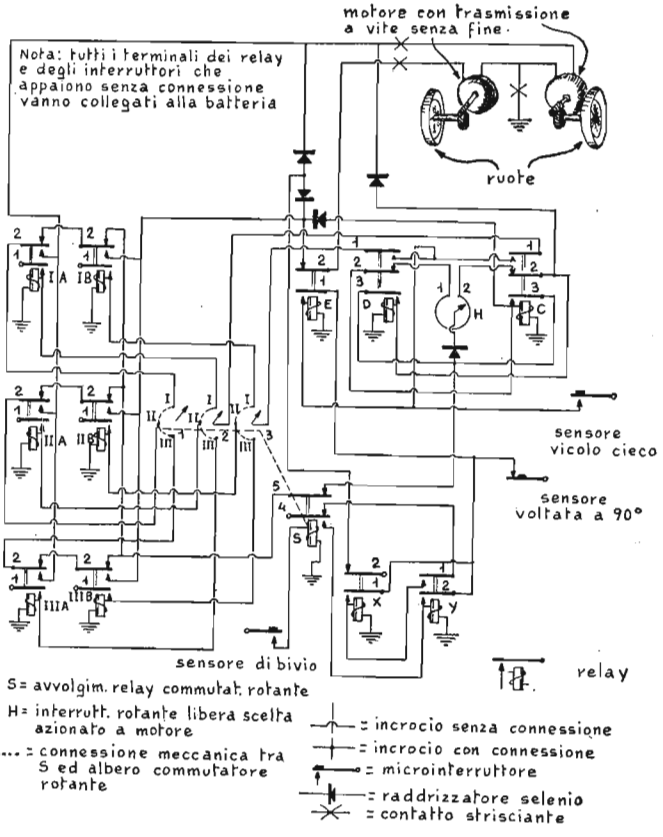
La sterzata viene ottenuta interrompendo la corrente da uno o dall'altro dei motori che azionano ognuno ciascuna delle ruote anteriori, per cui la ruota non fatta girare si blocca e serve da perno per la marcia, mentre l'altra ruota continua a spingere il veicolo che ruota così attorno a questo perno: in effetti in questo sistema di sterzata, si rispecchia il ben noto sistema che viene applicato per la sterzata di veicoli a cingolo, quali trattori e carri armati.

L'attrito contro le pareti laterali del labirinto viene ridotto mediante applicazione, sui lati della struttura del « topo », di ruotine di gomma, folli, con linea corrispondente di rotolamento giacente su di un piano verticale. Queste ruotine hanno anche il merito di aiutare il robot a disimpegnarsi quando ha occasione di incappare in qualche passaggio senza uscita.

Questi passaggi terminano con camere a parete cilindrica, nella quale il topo è costretto a compiere una quasi completa ruotazione (270° per la precisione), per uscirne. Ruotando, poi, per altri 90°, esso può lasciare il passaggio cieco e continuare il percorso sino al bivio successivo, senza che sia necessaria la inversione della marcia di qualcuno dei suoi motori.

Se il robot deve trarre vantaggio dall'esperienza acquisita, esso deve essere munito di qualche dispositivo tattile per rilevare ciò che gli sta intorno, nonché qualche dispositivo in cui accumulare le informazioni ricevute e di essere in grado di rilevare tali informazioni per utilizzarle al momento opportuno.

Come minimo, il robot deve essere in grado di conteggiare i bivi man mano che avanza nel labirinto e ricordare dove esso si trovò in errore in una precedente occasione: per esempio, se una deviazione a destra, al bivio n. 2, lo aveva condotto ad un vicolo cieco durante una precedente esplorazione, egli deve ri-



173. Circuito del topo elettromeccanico che apprende, con l'esperienza, a percorrere rapidamente il labirito.

cordare l'esperienza ed andare certamente a sinistra quando, nelle occasioni successive, si troverà di fronte allo stesso bivio.

Questa informazione viene rilevata per mezzo di tre « organi », composti tutti di microinterruttori sensitivi. Il primo gruppo di questi è distribuito lungo il soffitto del labirinto, in particolare uno all'entrata di ciascun bivio. Questa sequenza di interruttori avverte il cervello esterno del robot ogni qual volta il meccanismo si avvicina ad un bivio. La seconda serie di in-

terruttori, montata lungo le pareti, segnala al topo quando esso giunge ad una strada cieca.

Il terzo gruppo di interruttori ugualmente montato lungo le pareti dei corridoi si trova invece installato all'ingresso di ogni passaggio in linea retta, ed informa il « cervello » che l'alimentazione elettrica può essere applicata ad entrambi i motori del robot, per far sì che questo possa procedere appunto in linea retta. Tutti gli interruttori di ciascun gruppo sono collegati in parallelo.

Il « cervello » del topo consiste di tre elementi basici; dei « neuroni », aventi la funzione di memoria, realizzati con due relais per ciascuno dei bivi; un dispositivo, nella forma di un relais a scatti progressivi, rotante ed un elemento che mette il topo nella condizione di scegliere un bivio a caso quando esso non sa quale dei percorsi sia quello corretto.

Il cuore di tale elemento è un interruttore rotante azionato a motore, in cui le condizioni di apertura e di chiusura del circuito interessato si alternino.

Quando il topo fa il suo primo ingresso nel labirinto, entrambi i due motori delle ruote di avanzamento ricevono l'alimentazione attraverso un relais principale; in queste condizioni, il topo può pertanto procedere sino al primo bivio. Qui giunto, aziona uno dei microinterruttori installati sul percorso e questo chiude un circuito che informa il cervello del bivio stesso.

Risultato di quanto sopra può essere: 1) l'interruzione della corrente dai motori, da parte del relais principale; 2) un relais secondario allora fornisce alimentazione ad uno od all'altro dei due motori in funzione della posizione nella quale si trova il commutatore rotante in quello stesso; 3) l'interruttore rotante avanza sino alla prima serie di contatti, attraverso cui vengono azionati i relais della memoria.

Il topo, azionato quindi da un solo motore, si dirige verso destra o verso sinistra, a seconda della posizione scelta dall'interruttore rotante azionato dal motore. In queste condizioni, gli elementi sensori del percorso diritto, informano il cervello stesso che in quella direzione esiste un passaggio libero, determinano l'azionamento del relais principale e riprendono a fornire energia ad entrambi i motori. Il topo allora prende ad avanzare lungo questo tratto del passaggio.

Quando il topo, al termine di un percorso diritto, giunge ad un bivio, il ciclo delle operazioni di ripete: egli non ha però appreso alcunché. Se però il passaggio da lui scelto, lo guida in una strada senza uscita, allora i relais della memoria entrano in azione. Il sensore di « vicolo cieco » trasmette un impulso attraverso la lamina appropriata dell'interruttore a scatto, quindi blocca un relais per svolta a sinistra oppure un relais per svolta a destra.

Una volta che questa informazione sia stata archiviata, il topo segue la parete circolare della strada chiusa, ne esce e quindi procede sino al bivio successivo. Si può pertanto dire che il topo abbia appreso qualche cosa da una « difficile esperienza personale ». Il caso può condurlo con successo, attraverso il labirinto già alla prima prova. In tale caso, esso esce dall'esperienza senza avere appreso nulla delle caratteristiche del percorso.

D'altro canto, il caso può condurlo ad esplorare ogni vicolo cieco nel corso di una sola prova: se ciò accade egli, al termine, ha appreso tutto quanto vi era da sapere; da quel momento, egli non compierà più errori.

La memoria del topo opera in questo modo: quando egli raggiunge il primo bivio in una seconda prova, il sensore presente sul bivio stesso trasmette al cervello un impulso che fa avanzare l'interruttore a scatti alla prima serie di contatti ed aziona anche il relais principale, togliendo corrente da entrambi i motori. Se, a questo punto, nessuno dei relais è bloccato, il topo decide a caso della direzione da prendere. Ma se uno dei relais è bloccato, esso interrompe il contatto rendendo inattivo il circuito della scelta a caso ed una coppia di contatti chiusi sullo stesso relais fornisce corrente al motore che determina l'orientamento della marcia del topo nella corretta direzione.

6

CALCOLATORI ED IL TERRORE DELLA MATEMATICA

Nonostante il loro fascino per la scienza molti scienziati dilettanti rabbrividiscono al pensiero di dovere usare la matematica per qualche calcolo. Senza dubbio, la prontezza di abbracciare un nuovo hobby quale è quello della costruzione di calcolatori elettrici ed elettronici può essere attribuita, almeno in parte, a questa avversione per i metodi matematici diretti.

Molti di coloro che costruiscono queste macchine credono fermamente che esse operino su metodi non matematici e giungono all'estremo nell'ideare ingegnosi metodi completamente estranei, almeno all'apparenza, alle matematiche superiori, per determinare, ad esempio, l'area di una superficie piana nella quale i contorni siano irregolari.

Non tutti questi entusiasti confinano poi le loro velleità inventive alle apparecchiature elettriche; sono ad esempio, stati adattati numerosi congegni meccanici, chimici ed anche ottici per la soluzione di problemi, come viene spiegato nella discussione che segue.

7

LE GIOIE DELLA MATEMATICA

F. W. Niedenfuhr, professore di ingegneria meccanica all'Università di Stato dell'Ohio, invita gli scienziati dilettanti ad un incontro con il calcolo integrale.

Può essere causa di sorprese per i dilettanti l'apprendere che essi camminano pericolosamente sull'orlo del calcolo integrale. Va però detto che il calcolo integrale non è affatto quell'impresa

terribile come appare ad alcuni: si tratta di uno studio, almeno in parte, della misurazione delle superfici. In vista del diletto che può derivare dalla matematica e dalla comprensione delle operazioni scientifiche avanzate che esso permette di affrontare, è veramente una sfortuna che i dilettanti in numero maggiore di ora non dedichino parte del loro tempo a questo soggetto.

Gli esperimenti con problemi delle aree possono rappresentare un interessante punto di partenza; più avanti verrà fornito un esempio di un caso più difficoltoso, per il momento conviene comunque affrontare un problema di maggiore semplicità.

Immaginiamo di aver disegnato una semplice curva con gli estremi in contatto, su di un foglio di carta per scrivere, intendendosi con il termine « semplice » il fatto che la curva stessa non risulta incrociata. In quante maniere si può pensare di calcolare l'area stessa?

Il problema è interessante per me poiché mi piace osservare le maniere nelle quali gli studenti ai vari stadi di evoluzione tentano per risolverli. Uno studente di istituto superiore, al terzo anno, può cominciare con il tentare di descrivere l'equazione della curva.

Un matematico più esperto, invece, potrà chiedersi « con quale approssimazione si vuole conoscere quella superficie? ». Uno studente diplomato protesterà qualche volta che non è sicuro di comprendere il problema e che, comunque, esso probabilmente non può essere risolto. Un ingegnere od un geometra potrà forse ammettere di avere conosciuto una volta il sistema per il calcolo dell'area stessa, ma di essersene ora dimenticato, oppure può presentare una macchina detta « planimetro » e provvedere con essa alla misurazione dell'area. Di solito, egli non riesce a sapere perché tale apparecchio funziona, ma è certissimo che esso funziona; conviene comunque non insistere con questo interlocutore, il quale avrà certamente qualche altra cosa a cui rivolgersi.

Vidi una volta una geniale e molto indicativa soluzione a questo problema, presentata ad un incontro tra aeromodellisti alcuni anni addietro. Le norme della gara esigevano che i modelli avessero una fusoliera in cui l'area della sezione trasversale non fosse inferiore ad un certo minimo stabilito. Questa superficie era facile da controllare nei bei tempi passati, in cui

i modelli avevano una sezione pressoché quadrata, ma con l'avvento delle forme più aerodinamiche i giudici della gara cominciarono a preoccuparsi per avere la certezza che le norme fossero rispettate.

I giudici pertanto decisero di trovare l'area desiderata, prelevando per prima cosa un disegno accurato dei suoi contorni e quindi tagliando il disegno stesso e pesandolo; poiché il peso della carta usata, per ogni unità di superficie, era noto, era abbastanza facile calcolare l'area della superficie esaminata.

Ora, questa soluzione del problema della superficie rappresenta uno splendido esempio di calcolo integrale applicato. È alquanto sorprendente allora che coloro che abbiano effettivamente studiato questi sistemi di calcolo sorridano a questo metodo o lo scartino qualificandolo impratico. Eppure tutte le volte che sia disponibile sul posto un'accurata bilancia, questo è ancora uno dei più rapidi sistemi per il calcolo di aree su zone irregolari (illimitate sono le possibilità per ideare una bilancia di precisione che permetta di « pesare le aree »).

Altro ovvio sistema per calcolare l'area è quello di disegnare su carta millimetrata la figura che interessa in tutti i suoi particolari e quindi contare il numero dei piccoli quadrettini millimetrici compresi nella zona circoscritta dalla curva. Se allora sappiamo l'area di ogni singolo quadretto, possiamo trovare l'area totale moltiplicando l'area elementare di ogni singolo quadretto per il numero dei quadretti.

Ovviamente, lungo molti dei contorni della figura si avranno molti quadretti incompleti, perché tagliati in varia porzione dalla linea stessa, la presenza di questi potrà introdurre qualche errore nel conteggio empirico, e potrà essere necessario prevedere un margine di tolleranza per compensarlo. L'errore generale comunque risulterà ristretto per due motivi. Primo, nel conteggio di questi quadretti parziali capiterà a volte di sopravalutare l'estensione di uno e di sottovalutare quella di un altro, per cui le tolleranze in più od in meno tenderanno ad annullarsi a vicenda, riducendo i limiti di questa approssimazione. In secondo luogo, l'occhio umano è un giudice abbastanza preciso per aree di piccola estensione.

Il processo di questo sistema per il calcolo delle aree non è tanto noioso come potrebbe apparire, poiché nell'interno della

figura è possibile conteggiare notevoli numeri di quadretti, tutti in una volta. Per esperienza personale posso dire che su carta da disegno millimetrata normale, i quadretti intermedi, ossia quelli con 5 millimetri di lato sono già soddisfatti almeno per aeree di dimensioni medie, mentre per quelle più piccole è ovvio che occorra conteggiare piuttosto i quadretti dei millimetri.

Una variazione sul sistema del conteggio dei quadretti di area elementare è il cosiddetto metodo di Montecarlo, che vale la pena di sperimentare, almeno una volta.

A tale scopo occorre disegnare di nuovo la figura che interessa valutare su di un foglio di carta e quindi, sul foglio stesso, a caso, si fa scendere il dito indice. Così facendo quattro sono i casi che possono presentarsi: 1 - che la punta del dito cada nella zona circoscritta dal contorno della figura, 2 - che essa cada invece fuori dalla zona circoscritta stessa, 3 - che cada esattamente sulla linea che costituisce il contorno della figura, 4 - che infine cada del tutto fuori dal foglio di carta.

Ora, su di un foglio di carta a parte si prende nota dei risultati delle varie singole prove che vengono condotte. Nel caso n. 1, quando cioè la punta del dito cade nella zona delimitata dalla figura, si annota un « sì » sul foglio mentre si annota un « no » quando il dito scende sul foglio stesso, ma fuori dalla figura. Una volta che sia stata eseguita in questa maniera una grande serie di prove, sarà possibile trovare l'area della zona delimitata che interessa, moltiplicando l'area totale della carta sulla quale il disegno è stato fatto, per il numero di volte in cui, sul foglio a parte, è stato annotato un « sì » e dividendo per la somma totale dei « sì » e dei « no », annotati sul foglio stesso.

La precisione di questo rilevamento dipenderà da due cose. Primo, che il numero delle singole prove deve essere quanto più possibile; secondo, che il dito deve essere fatto scendere veramente a caso sul foglio, senza alcuna preferenza sia pure inconscia per le zone interne od esterne ai contorni della figura. Ovviamente, se volutamente si fa scendere sempre il dito su di una zona esterna a quella delimitata dai contorni, accade di non poter annotare alcun « sì » e l'applicazione della formula sopra indicata darà come risultato, il valore di zero, mentre se si cercherà di far cadere il dito sempre nella zona interna ai

contorni, si annoterà un numero eccessivo di « sì », dal che deriverà una altrettanto errata indicazione della superficie della zona.

Eseguito a mano, il metodo di Montecarlo può portare solamente ad un dito indolenzito e ad una valutazione errata dell'area; esso invece si dimostra un metodo abbastanza utile quando può essere realizzata una macchina in grado di fare annotazione di un gran numero di prove. Macchine che sono in grado di « integrare », e quindi calcolare le aree con questo metodo, sono state appunto costruite, ma esse sono alquanto impedite dalla difficoltà di stabilire un sistema che permetta ad esse di fare scendere « il dito » sul foglio con un criterio veramente privo di qualsiasi sistema, ossia veramente a caso.

Ogni dispositivo meccanico in grado di produrre queste decisioni « a caso » è infatti soggetto ad una usura ed il danneggiamento di alcune delle sue parti, potrà dare luogo a qualche preferenza da parte del meccanismo verso talune posizioni ed a trascurarne altre, facendo quindi entrare nel sistema un certo ordine. Per un certo tempo, venne ritenuto che la sequenza delle cifre del numero indefinito che esprime il π (3,14159...) poteva aiutare nel definire una successione casuale, ma poi venne constatato che questo non era il caso: in effetti non vi è ancora nessun metodo soddisfacente per produrre una successione casuale di numeri; nonostante questa difficoltà di ordine pratico, comunque, il metodo di integrazione detto di « Montecarlo » si mantiene tutt'ora molto promettente.

Vi è ancora un altro modo nel quale il problema originale può essere risolto. Si supponga che la nostra area di superficie sconosciuta venga divisa in un grande numero di strette strisce, da una serie di linee sottili ed uniformemente spaziate, verticali tracciate sulla carta nel modo indicato in fig. 174. Ciascuna di queste strisce differisce poco, di per se stessa, da un rettangolo stretto e lungo. Si suppone che ciascuna delle strisce sia stata così numerata per scopi di identificazione e che la sua lunghezza sia stata misurata. Se le lunghezze delle varie strisce, sono rispettivamente L_1, L_2, L_3, e così via; la formula seguente può essere adottata per il calcolo dell'area della figura:

Area $= (L_1 + L_2 + L_3 \ldots) \times B$ in cui B è la larghezza delle strisce. Le estremità di ciascuna delle strisce, con molta probabi-

lità, non sono squadrate ma con i lati inclinati od addirittura sghembi; per questo, specialmente se la striscia è piuttosto larga, si può avere una qualche difficoltà a precisarne la lunghezza e la precisione del risultato finale dipenderà da quanto esattamente la lunghezza di ciascuna delle strisce potrà essere stabilita.

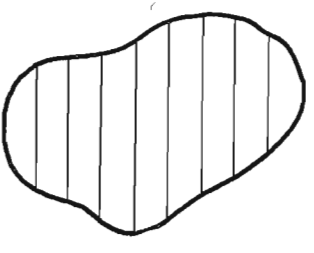
Se le strisce sono più strette, però, potrà essere più facile accertarne la lunghezza; si immagini per esempio, che ciascuna di esse abbia come larghezza una dimensione analoga allo spessore della carta sulla quale la figura è disegnata: se le strisce potessero essere separate effettivamente una dall'altra sarebbe possibile misurare la lunghezza di un certo numero di fili.

Tale procedimento è lungo e noioso, ma non difficile, per questo la precisione della formula aumenta a misura che il valore di B diviene via via più piccolo ed a misura che aumenta il numero delle strisce nelle quali la figura viene suddivisa. Il teorema fondamentale del calcolo integrale è appunto basato su questa formula.

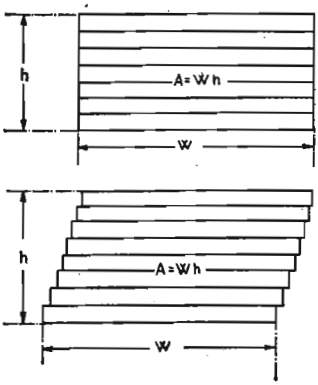
L'area fornita dalla formula non risulterà variata nel caso che le strisce siano spostate una rispetto all'altra; ciò sta a spiegare perché l'area del rettangolo e quella del parallelogramma della fig. 175 sono uguali.

Il parallelogramma è in definitiva un semplice rettangolo con gli elementi costitutivi, rappresentati dalle strisce, leggermente spostati verso una parte; il processo dello scorrimento non varierà affatto la lunghezza come anche la larghezza di ciascuna delle strisce.

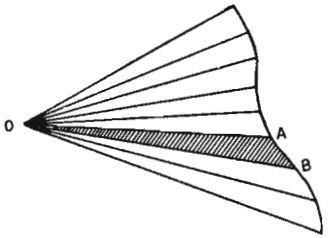
Altro processo per misurare le aree consiste nel dividere la zona sconosciuta, in un grande numero di triangoli, quindi trovare l'area di tutti questi triangoli, separatamente, ed infine sommare tutte queste aree elementari.



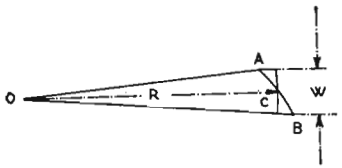
174. Divisione di una superficie irregolare in strisce di larghezza uniforme.



175. La superficie tagliata in lamine, in alto, non varia di dimensioni quando gli elementi vengono inclinati, come in basso.

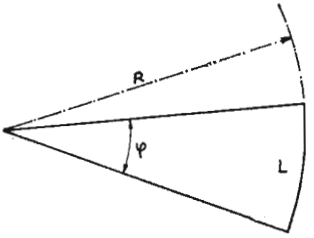


176. Una superficie irregolare divisa in angoli di ampiezza uniforme.



177. Elemento di una superficie irregolare divisa da raggi posti ad angoli uguali.

La zona da misurare viene suddivisa tracciando su di essa dei raggi, ciascuno dei quali si trova nella stessa relazione angolare rispetto agli adiacenti, fig. 176. Si guardi a questo punto ad un tipico elemento di questa superficie, fig. 177. Ammettiamo che C sia al centro di AB e che R sia la distanza tra O e C. Si immagini ora di tracciare un arco di cerchio di raggio R, (OC), tra le linee OA ed OB. Se l'angolo AOB è molto piccolo, questo arco si presenterà come una linea praticamente diretta di lunghezza W. L'area del triangolo sarà allora uguale alla metà del prodotto di $R \times W$.



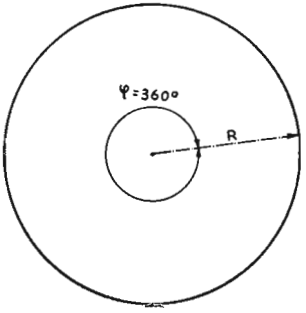
178. Angoli misurati con un metodo grafico.

Se l'angolo AOB viene individuato con il simbolo $d\varphi$, si può vedere che le due dimensioni R e W determinano l'angolo, infatti possiamo dire, per definizione, che $d\varphi = W : R$. Tutti abbiamo una sufficiente esperienza nella misurazione di angoli in gradi ma questo nuovo metodo per la misurazione risulta in genere assai più utile in matematica.

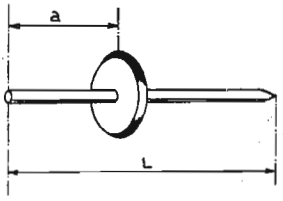
Le unità di questo sistema di misura vengono dette « radianti ». Per esempio, se nel caso della misurazione di cui sopra, R fosse stato di 75 millimetri e W fosse stato di 7,5, allora $d\varphi$ sarebbe un angolo di 0,1 radiante, vale a dire di una ampiezza di poco inferiore ai 6 gradi.

La misurazione di angoli più grandi può essere fatta disegnando un settore circolare, fig. 178. Si immagini che R sia il raggio del settore ed L sia invece la lunghezza dell'arco; l'angolo φ espresso in radianti è: $\varphi = L/R$. Se si continua ad aumentare l'ampiezza dell'angolo φ, il settore si allarga sino ad un cerchio, v. fig. 179, ed allora l'angolo φ diviene di 360 gradi.

Quanti radianti misura esso in tali condizioni? La « lunghezza dell'arco », L, è divenuta uguale alla circonferenza del cerchio che come è noto, misura $2 . \pi . R$. Allora $\varphi = L/R =$



179. Settore aperto per creare un angolo di 360 gradi.



180. Elemento fondamentale di un planimetro.

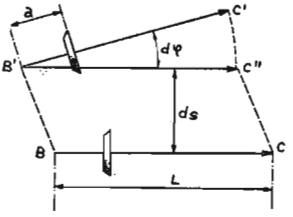
$2.\pi R/R$. Così abbiamo che $2.\pi$ radianti equivalgono a 360 gradi. Il vantaggio di usare la misura del radiante per gli angoli sta nel fatto che se diciamo « l'angolo equivale alla lunghezza dell'arco sul raggio » possiamo anche dire che la lunghezza dell'arco equivale all'angolo moltiplicato per il raggio.

Tornando al nostro triangolo, dato che $d\varphi = W/R$ oppure $W = R \cdot d\varphi$, l'area del piccolo triangolo è uguare ad $\frac{1}{2} \cdot R \cdot W = \frac{1}{2} R^2 d\varphi$. Ammettiamo che R_1, R_2, R_3 e così via, siano i raggi di piccole « fette » triangolari della grande superficie. Allora, poiché ciascuna delle « fette » ha lo stesso angolo ($d\varphi$), la grande area può essere calcolata con la formula seguente.

$$A = \frac{1}{2} \cdot (R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \ldots) \times (d\varphi).$$

Questo sta a rappresentare la somma delle aree dei piccoli triangoli. Questa formula è ugualmente vicinissima ad una formula di calcolo; la sua precisione diverrà maggiore, man mano che il valore di ($d\varphi$) diminuirà ed aumenterà invece il numero dei termini interessati al calcolo.

A questo punto si hanno già a disposizione sufficienti notizie per costruire una macchina atta alla misurazione delle aree (un planimetro). Si immagini una barra diritta che serve da asse per una ruota dal bordo molto sottile, sino quasi a sembrare la lama di un coltello, fig. 180. Si immagini poi che questa barra si muova per un piccolo tratto, parallelamente al piano della carta, mentre la ruota gira e scorre sulla carta stessa. Si fa dunque muovere la barra da BC a B'C', fig. 181. Questo movimento potrebbe essere attuato, dapprima muovendo la barra sino in posizione parallela a quella di partenza ossia da BC a B' C'' e, quindi, ruotandola attorno a B' sino a quando raggiunga la posizione voluta B' C'.



181. Geometria dell'azione e del funzionamento di un planimetro.

Ci si chiede ora quale distanza abbia compiuto la ruota in questo suo movimento. Nel muoversi da BC a B'C'', la ruota gira (e scorre un poco lateralmente), per una distanza (ds) e quindi muovendosi da B'C'' sino a B'C', la ruota gira di una distanza « a » (dφ). Anche questa volta, il valore dφ viene espresso in radianti e si tratta di un angolo di piccola apertura. Così, la distanza totale per la quale la ruota si sposta, è di (dp), in cui $(dp) = (ds) + a\ (d\varphi)$.

Si cerca allora su quale area la barra stessa si sia mossa: nel muoversi da BC e B'C'' l'area coperta è stata quella di L (ds), mentre nel muoversi da B'C'' a B'C' l'area coperta è stata $\frac{1}{2}\ L^2\ (d\varphi)$ così, se si chiama (dA) l'area totale sulla quale la barra si è mossa, abbiamo che

$$(dA) = L\ (ds) + \frac{1}{2}\ L^2\ (d\varphi).$$

Combinando quindi le ultime due equazioni, abbiamo:

$$(dA) = L\ (dp) - La\ (d\varphi) = \frac{1}{2}\ L^2\ (d\varphi) = L\ (dp) +$$

$$+ \left(\frac{1}{2}\ L^2 - La\right)\ (d\varphi).$$

A questo punto si deve sapere, se ancora non sia stato intuito, che, nell'annotazione del calcolo, se « x » è una quantità qualsiasi, il simbolo (dx) sta ad indicare una piccola porzione di « x ». Se per esempio A è un'area, (dA) è una piccolissima « fetta » di questa superficie. Se « p » è una distanza, (dp) è un piccolo passo rispetto a tale distanza.

Una volta acquistata padronanza di questo calcolo, all'apparenza complesso, potremo fare una prova interessante, con la nostra piccola ruota montata all'estremità dell'asse; in partico-

lare si tratterà di collegare al punto B un'altra barra che viene chiamata « braccio polare ».

Questo braccio ha appunto una estremità collegata, mediante una cerniera, al braccio principale nel punto B, mentre la sua altra estremità è fissa, ma libera di ruotare, sul punto O, fig. 182.

Tracciamo ora la circonferenza di un'area con la punta C; in queste condizioni, la superficie esplorata da BC, sarà la stessa area che noi stiamo cercando di misurare, più l'area scoperta nell'illustrazione. Ma la zona scoperta risulta coperta due volte; una volta quando la barra passa su di essa in una direzione, ed una volta quando invece essa vi passa in direzione opposta, così che questa zona esplorata in direzioni opposte risulta annullata.

Se consideriamo che la superficie totale esplorata dal braccio sia la somma di un grande numero di piccole superfici (dA), come segnato più sopra, potremo dire:

$$A + (dA)_1 + (dA)_2 + (dA)_3 + \ldots = $$
$$= L\,[(dp)_1 + (dp)_2 + \ldots] + (\frac{1}{2}L^2 - La).$$
$$[(d\varphi)_1 + (d\varphi)_2 + \ldots]$$

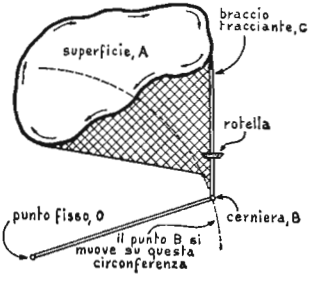
Possiamo ora interpretare ciascuna di queste somme. La distanza totale (p) attraverso alla quale la ruota ha girato è:

$$p = [(dp)_1 + (dp)_2 + \ldots]$$

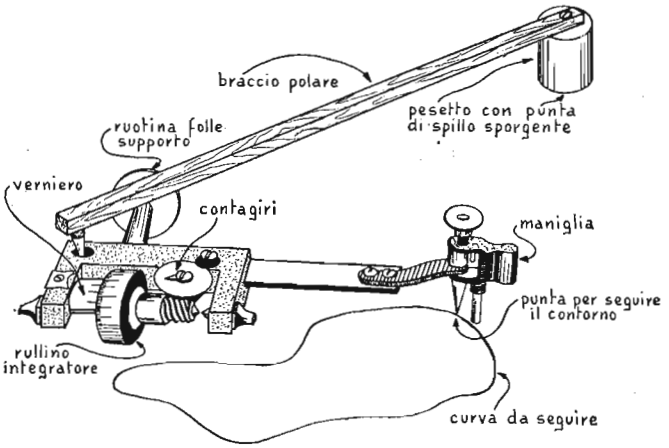
L'angolo totale percorso dal braccio BC è:

$$\varphi = [(d\varphi)_1 + (d\varphi)_2 \ldots]$$

Ma dal momento che il braccio polare aveva forzato l'altro a tornare esattamente al suo punto di partenza, l'angolo totale della rotazione è uguale a zero. Così, $A = Lp$ (« p », anche questa volta, è la distanza percorsa dalla ruota). Tale valore può



182. Dimostrazione della integrazione per mezzo dell'uso di un planimetro.



183. Una forma per la realizzazione pratica di un planimetro.

facilmente trovarsi dalle indicazioni sulla scala tracciata sul bordo della ruota stessa.

Il piccolo strumento su cui è stato discusso viene chiamato planimetro polare ed è visibile nel suo insieme nella fig. 183. Vi sono sul mercato diversi modelli di tale apparecchio, tutti però, piuttosto costosi per il principiante.

È comunque interessante, oltre che conveniente, il tentare la costruzione di un esemplare di questo strumento. Un planimetro polare in grado di fornire delle indicazioni esatte, è un apparecchio di precisione. Se colui che si accinge a questa costruzione non è molto abituato a qualche lavorazione di meccanica fine vi è un altro metodo per venire a capo della impresa.

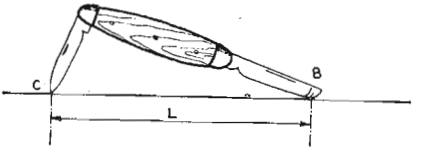
Il temperino tascabile a doppia lama può essere usato nella funzione di un soddisfacente, sia pure approssimativo, planimetro. A tale scopo, occorre aprire il coltello e portarlo nelle condizioni illustrate nel particolare in alto della fig. 184. Si accerta poi che la lama B tocchi, non con la punta ma con il bordo tagliente e che la lama C tocchi invece con la punta stessa, quando il coltellino aperto viene tenuto nella posizione illustrata, su di una tavola; si determina poi la distanza L. Si prende quindi la superficie da misurare: le cose dovrebbero essere predisposte in

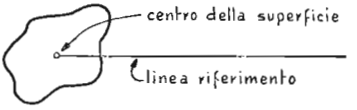
maniera che il diametro maggiore della figura irregolare da misurare risulti notevolmente minore della dimensione L, ad esempio, non più della metà di questa dimensione. Si stabilisce poi, con approssimazione, il centro della figura; si disegna una linea diritta da usare come linea di riferimento a partire dal centro così trovato e diretta all'esterno della zona, v. particolare in basso della fig. 184. Poi si tiene il coltello in modo che la punta della lama C risulti in corrispondenza del centro dell'area e che B risulti corrispondente alla linea di riferimento tracciata in precedenza. Tenendo poi la lama C e trattenendola, si spinge il coltello lungo la linea di riferimento, sino a che la punta C, in questione, giunga sulla linea di contorno della zona. Poi, tenendo il coltello sempre sollevato ed in contatto con la carta solo con le sue lame, si guida la punta C attorno all'area ripassando cioè completamente la linea del contorno e finalmente lo si riporta indietro in direzione del centro della figura. Nel frattempo, la lama di sostegno B avrà continuato a scorrere liberamente sulla carta. Una volta tornati nella posizione di partenza, la lama B non risulterà però sulla linea di riferimento e la linea immaginaria passante per il centro del coltello stesso formerà con tale linea di riferimento una specie di angolo.

Denominiamo φ questo angolo, misurato in radianti; la superficie attorno alla quale il coltellino è stato fatto passare seguendo i contorni è data approssimativamente dalla formula $A = L^2 \varphi$, un calcolo questo che è così facile da condurre che vale proprio la pena di provarlo su qualche superficie nota anche se solamente per conoscere in effetti le possibilità del semplicissimo sistema di misurazione.

Se non è conveniente misurare l'angolo direttamente in radianti, lo si può misurare dapprima in gradi secondo la prassi normale indi moltiplicarlo per 2π e poi dividerlo per 360, in accordo con la definizione data più sopra in relazione ad un radiante. Questo tipo di planimetro che viene fatto scorrere sui contorni della superficie da misurare, viene anche detto planimetro « ad accetta ».

Ed ecco, a questo punto, un problema più complesso, secondo quanto era stato promesso in precedenza: sembrerebbe naturale in vista di qualsiasi precedente, cercare la superficie di una zona curva delimitando tale superficie in un poliedro composto





184. *In alto*, un temperino nella posizione per il suo uso come planimetro; *in basso*, una superficie irregolare da misurare e la linea di riferimento.

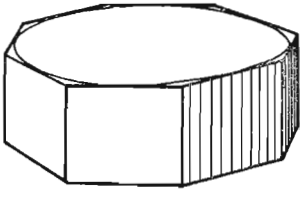
da molte facce e quindi sommando le superfici delle facce di questo poliedro, ammettendo che tutte le facce debbono avere lati diritti.

Per esempio, l'area di un cilindro può essere ottenuta, almeno con approssimazione, sommando tra di loro le facce di un poliedro ottagonale in contatto stretto con il cilindro, fig. 185.

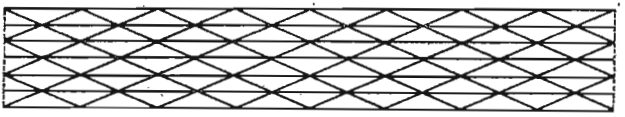
Il risultato, poi, potrebbe essere più preciso nel caso che, invece di un ottaedro, venisse considerata una scatola composta di un numero assai maggiore di facce ma sempre perfettamente regolare. Allo scopo di dimostrare però che questo non è sempre un processo così facile, si consideri il caso seguente.

Si taglia il cilindro lungo una linea verticale e si raddrizza la sua superficie curva, in modo da ottenere un rettangolo disteso (il che è facile usando un foglio di cartoncino o di carta avvolta attorno al cilindro di partenza). La superficie di questo foglio è dunque identica a quella curva cilindrica alla quale aderiva; si divide allora la superficie piana ottenuta in rettangoli ed in quadrati secondo la maniera illustrata, fig. 186.

Si avvolge di nuovo, a questo punto, il foglio rettangolare, in modo da formare il cilindro (non tenendo mai conto, in queste



185. L'area del cilindro illustrato e avvicinata da quella della scatola ottagonale che circonda con precisione il cilindro stesso.



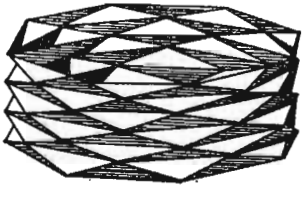
186. Superficie laterale di un cilindro analizzata in rettangoli ed in triangoli.

ricerche delle due superfici piane, circolari dei fondi). Si fa in modo che ogni vertice di ogni triangolo giaccia sulla superficie del cilindro; collegando questi vertici con delle linee diritte, formiamo questa volta un poliedro con un grande numero di facce triangolari che risulta inscritto nel cilindro.

I lati dei triangoli non risultano sulla superficie del cilindro ma scorrono nell'interno di esso, da un punto della superficie ad un altro. È allora invitante supporre che l'area del poliedro si avvicina sempre più all'area del cilindro di partenza man mano che viene aumentato il numero dei triangoli di cui esso è composto, cioè quando la griglia composta dai triangoli e dai rettangoli, diviene via via più fine.

Questo non è però un fatto vero; se la griglia viene scelta con proprietà, il poliedro può essere realizzato in forma tale da rassomigliare ad una sorta di lanterna giapponese, fig. 187. L'area di un tale poliedro può essere resa molto più grande di quella del cilindro che la circoscrive.

La ragione di questo sta nel fatto che i piani dei triangoli sono inclinati in dentro ed in fuori, rispetto alla superficie del cilindro. Se il numero delle divisioni verticali è molto grande, i triangoli divengono pressoché perpendicolari alla superficie curva. Così, l'area di questi triangoli non entra in una particolare relazione con l'area del cilindro.



187. Cilindro di superficie infinitamente grande, non in relazione con il suo volume.

VIII.

AERODINAMICA

1. *Alto e basso*
2. *Tunnel del vento a bassa velocità*
3. *Come si rende visibile la corrente d'aria*
4. *Tunnel a fumo costruito da un dilettante*
5. *Aerodinamica nel lavello di cucina*
6. *Aerodinamica nella vasca da bagno*
7. *Missilistica per dilettanti*

1

ALTO E BASSO

Una nota in merito alle attrattive che si nascondono nell'aerodinamica a bassa velocità è che, sebbene questo appaia strano, è stata trascurata, a differenza dei problemi relativi ai missili ed ai razzi.

Tra gli appassionati di modellismo che costruiscono e fanno marciare dei modelli di qualsiasi genere, si riconoscono due correnti che risultano in aperto contrasto. Vi è poi l'ancor più recente categoria degli entusiasti per la missilimodellistica che seguono nelle loro realizzazioni dei metodi rigorosamente scientifici e presentano un profondo interesse per la teoria. La corrente assai più nutrita è quella delle diecine di migliaia di persone che fanno marciare modelli di imbarcazioni, di cervivolanti e che costruiscono modelli di aerei e sembrano appagati dei progetti classici e di metodi pressoché empirici.

Quasi senza eccezione i modelli che questi fanno navigare o volare sono copie volutamente fedeli a modelli già da lungo tempo diffusi, od addirittura standardizzati, su cui siano state semmai apportate delle variazioni superficiali. Se più di una diecina di dilettanti hanno compiuto negli ultimi trenta anni un serio tentativo ad investigare nelle origini delle forze responsabili per il comportamento dei loro modelli di velivoli a bassa velocità, posso dire che debbo ancora avere notizia in merito a questi.

Eppure anche in questo campo del modellismo, degli affascinanti problemi (trascurati sino ad ora da dilettanti come anche da professionisti) aspettano ancora una soluzione su ogni aspetto: riscaldamento nello spazio, contaminazione dell'aria, condizionamento e ventilazione dell'aria e progettazione degli strumenti meteorologici. Le prestazioni di tutti questi sistemi e dei meccanismi, sono influenzate da forze dell'entità di piccole frazioni di grammo determinate dal flusso di aria a bassa velocità,

forze comunque suscettibili di misurazioni e di controlli scientifici. Nonostante questo, va ammesso che tali meccanismi sono stati per lo più attuati con concetti e tecniche empiriche.

Forse la trascuratezza presentata dai professionisti nei riguardi di questa scienza basilare può essere spiegata in termini di banconote da 1000 e monete da 100 lire: può intervenire infatti la sensazione che il tempo ed il denaro speso non sarebbero valsi i risultati.

Questa spiegazione comunque può difficilmente riferirsi ai dilettanti: il tempo rappresenta infatti la principale materia prima su cui i dilettanti lavorano. Molti, giovani e non giovani, spendono ore ed ore nella costruzione di cervi volanti e quindi nel fare volare questi: da notare che ancora, a parte poche eccezioni, i cervi volanti attuali non presentano davvero dei veri miglioramenti aerodinamici rispetto a quelli che avevano volato sulle teste dei nostri antichi colleghi, addirittura 3000 anni addietro. Perfino la marina continua ad usare tutt'oggi i famosi cervi volanti a scatola, classici, ma altamente inefficienti, con cui vengono fatte trainare le antenne radio degli impianti installati specialmente sulle imbarcazioni di salvataggio, dove non è certo possibile installare altro sistema per l'elevazione delle antenne stesse, date le piccole dimensioni e l'impossibilità di realizzare strutture di altro genere. È vero che taluni di questi dispositivi sono realizzati con materiali abbastanza moderni, ivi comprese anche le sottili strutture di alluminio e di tessuto resistente, per cui ben poco è rimasto, in essi, del materiale tradizionale, rappresentato dalle stecche di bambù e dalla sottile carta velina; ma, nonostante ciò, questi cervi volanti della marina sono, come concetto, antichi di mille o più anni.

Ancora più sorprendente è poi l'assenza di interesse attivo nei riguardi dell'aerodinamica delle basse velocità da parte delle industrie degli aeromodelli, che secondo le statistiche stanno coinvolgendo interessi di molti miliardi di lire. Per una notevole percentuale le migliaia di entusiasti che attingono a questa industria per il loro hobby, sono in effetti dei privati dotati di possibilità economiche, dei piloti professionisti ed altri con una qualifica in qualche campo della scienza e della tecnica. Ogni anno questi qualificati hobbisti costruiscono e mettono in volo decine di migliaia di aeromodelli; eppure quelle microsco-

piche ali che essi costruiscono, riproducono ancora senza esattezza i profili alari dei velivoli reali da cui esse derivano; specialmente per quello che dipende la velocità al disopra di 80 chilometri all'ora oppure su modelli messi insieme con metodi approssimati, per tentativi.

Taluni dei curiosi effetti causati dal movimento dell'aria possono essere messi in evidenza con un impianto composto da pochi comuni oggetti casalinghi. Si sospendono, ad esempio, due mele all'estremità inferiore di due cordicelle, formando il sembiante di una coppia di pendoli in posizione tale per cui, tra i pendoli stessi, risulti uno spazio molto piccolo: se in queste condizioni si dirige un getto di aria (soffiando magari in una cannuccia), nello spazio compreso tra di esse, si noterà che le due mele tenderanno a ravvicinarsi, piuttosto che separarsi come si potrebbe invece pensare che dovesse accadere.

Si prende poi un pezzo quadrato di carta delle dimensioni di 25 millimetri di lato circa, si fa passare uno spillo per il suo centro, indi si fa scendere questo sistema su di un rocchetto da filo, in legno, vuoto, in maniera che il gambo e la punta dello spillo risultino nell'interno del foro esistente al centro del rocchetto: mantenendo verticale il sistema e soffiando dal disotto nel foro, si troverà assai difficile il fare uscire lo spillo e fare cadere il foglietto.

Si disponga allora un ventilatore elettrico sul pavimento e lo si orienti in modo che la corrente di aria sia proiettata esattamente in direzione verticale, verso il soffitto: se a questo punto si introduce con attenzione un leggero pallone di gomma gonfiato nel getto cilindrico di aria, esso non viene spinto via dal getto stesso, ma tende a rimanere a mezz'aria, al centro di esso, variando di poco la sua quota e ritornando in posizione, anche se si tenterà di sportarlo leggermente con l'aiuto di una bacchetta.

Tutti questi effetti hanno la loro radice in una proprietà abbastanza comune dell'aria in movimento, ossia quella che spiega perché gli aerei volano e come sia possibile costringere una palla da golf a compiere, quando lo si voglia, un percorso nell'aria leggermente curvo. La pressione esercitata dall'aria in movimento su di una superficie è minore di quella dell'aria allo stato di immobilità. Le ali degli aerei hanno un profilo tale per cui l'aria

è costretta a scorrere più rapidamente sulla faccia superiore di esse che sulla loro superficie inferiore, e questo dà luogo alla riduzione della pressione al disopra della stessa con la produzione di una ulteriore forza di sollevamento che si viene a manifestare sull'areo. Questo effetto venne descritto per la prima volta in termini precisi da Daniel Bernoulli, uno dei membri della celebre famiglia di matematici svizzeri, nel 1737.

Altra interessante proprietà dell'aria è la sua adesività: essa infatti aderisce agli oggetti, li « bagna », e tende così a ritardare il loro movimento attraverso l'aria stessa. In genere queste forze negative, come quelle di sostentamento, aumentano con l'aumentare della velocità.

A velocità dagli 80 ai 600 chilometri all'ora circa, lo strato sottile di aria che aderisce alle superfici influenza le forze in maniera significativa; a velocità più elevate queste forze variano: alla velocità del suono per esempio, gli oggetti in movimento lacerano letteralmente l'aria che attraversano, comprimendo questa nella parte anteriore e creando invece una sorta di vuoto nella parte posteriore, rispetto al senso di marcia. Gli studiosi professionisti, sono oggi notevolmente impegnati dagli effetti che si trovano al di là di quella che era stata definita « la barriera del suono ».

Nessuno, però, sembra per lo meno interessato con gli effetti, ugualmente importanti di quella gamma delle velocità nelle quali può rientrare un leggero venticello. Poco prima dell'inizio della seconda guerra mondiale, un gruppo di dilettanti di Boston, diretti dal capitano W. C. Brown dell'aeronautica militare statunitense, decise di esplorare il comportamento delle forze aerodinamiche, determinate da velocità dell'ordine dei 3 metri al secondo, vale a dire di circa 10 chilometri all'ora; diversi degli elementi del gruppo citato stavano studiando ad un corso superiore di aerodinamica all'Istituto di Tecnologia del Massachusetts. Questo gruppo spese molte ore nella costruzione di un tunnel a vento di precisione, per ricerche sulle basse velocità. Sfortunatamente questo tunnel rimase in funzione per un tempo troppo breve, dopo di che ebbe inizio il conflitto quando il gruppo stesso aveva potuto portare a termine due soli studi. In particolare esso aveva tracciato la curva caratteristica di una serie di profili alacri calcolati matematicamente e destinati ad aeromodelli che avrebbero

dovuto volare nell'interno di ambienti, ed aveva indagato negli effetti della profilatura degli elementi strutturali collegati a questi profili. Dopo l'operazione nipponica contro Pearl Harbor, la maggior parte degli elementi del gruppo venne inquadrata nell'aeronautica e questo pose termine agli sforzi di ricerca iniziati, peraltro promettenti; comunque, i pochi elementi di valore che emersero da quegli studi continuavano ad essere diffusi ogni tanto, sui notiziari scientifici di tutto il mondo.

Una volta conclusasi la Seconda Guerra Mondiale, il dipartimento di Aerofisica dell'Università di Stato del Mississippi intraprese una serie di studi completi sul comportamento dell'aria a velocità comprese tra i 25 ed i 60 chilometri all'ora ed alcuni dilettanti condussero anche taluni esperimenti nella porzione più bassa di queste gamma di velocità; nella pagine seguenti sono forniti alcuni esempi assai rappresentativi di questi lavori.

All'estremo opposto, i dilettanti di missilimodellistica a diecine di migliaia stanno ora dedicando la maggior parte delle loro ore libere alla ricerca delle forze che determinano il comportamento dei loro modelli. Di solito, i razzi ed i missili, rappresentano il risultato di uno sforzo di cooperazione sotto la direzione di professionisti. Gli elementi singoli di un gruppo di missilistica, tendono a specializzarsi, alcuni apportando il loro aiuto nella progettazione delle strutture, altri nella costruzione dei complessi di propulsione, dei meccanismi per il lancio, dei dispositivi di prova, di guida, di telemisura e di valutazione delle prestazioni. Dei mesi di ricerche possono essere dedicati nella progettazione e nella costruzione di un missile il cui ciclo vitale, dal momento dell'accensione e del lancio al termine del suo volo, si potrà concludere in meno di mezzo minuto; ad ogni modo, i dati raccolti durante quei pochi secondi di volo forniranno elementi di ricerca che terranno impegnato il gruppo per molti mesi ancora: come conseguenza di questo accostamento all'interesse dilettantistico, i modellisti di missili avranno raccolto un notevole contingente di cognizioni dirette nei campi dell'aerodinamica ad alta velocità, dei propellenti, della strumentazione, delle prove a terra e delle tecniche di lancio, come viene assicurato dalla sempre crescente letteratura sul missilismo dilettantistico. In questa sezione viene anche fatto un cenno all'attività pionieristica di uno di questi gruppi.

2

TUNNEL DEL VENTO A BASSA VELOCITÀ

L'apparato più preciso che sia stato costruito per indagare sulle forze di frazioni di grammo che si sviluppano dal lento movimento dell'aria rispetto ad oggetti fissi o viceversa è stato progettato e costruito da un gruppo di dilettanti di Boston, nel Massachusetts. Vengono qui appresso discussi alcuni dettagli della sua costruzione, nonché i risultati da questi derivati. Molti problemi affascinanti attendono ancora un'indagine da parte di questa tecnica. Il tunnel del vento è descritto da W. C. Brown, uno degli elementi del gruppo.

Uno degli insuccessi negli ultimi 35 anni di aviazione è stato certamente la incapacità da parte dell'uomo di penetrare la sezione di questa interessata alle basse velocità. Il lento autogiro, come lo stesso elicottero, rappresentano infatti due delle poche innovazioni, seguite da successo, nel disegno convenzionale, da quando l'aviazione era divenuta un fatto compiuto. Chi può dunque prevedere quali altre scoperte in questo campo potranno ancora rivoluzionare i disegni attuali dei mezzi volanti?

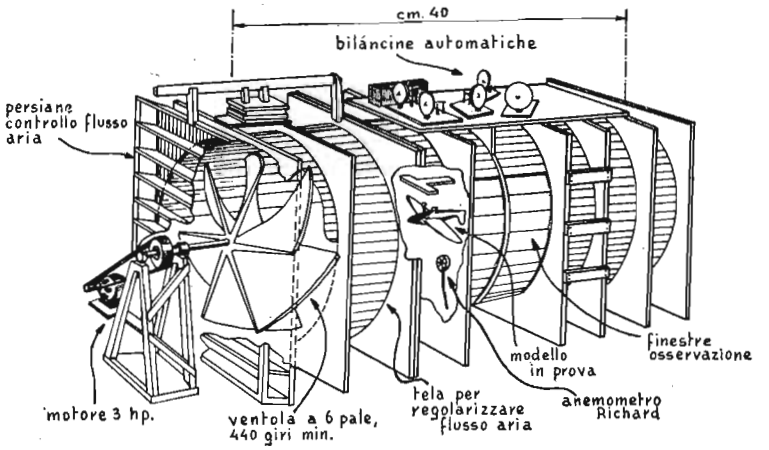
Prima della guerra, erano stati fatti diversi tentativi con vari tipi di apparecchiature, allo scopo di raccogliere elementi nel campo delle basse velocità inerenti l'aeronautica. Un progetto rilevante era stato quello relativo ad un tunnel a vento, di circa 90 centimetri di diametro e con il getto di aria spinto da un normale ventilatore: il famoso profilo alare denominato B-7, è derivato appunto dal lavoro di ricerca condotto attorno a questo apparecchio. Un altro progetto, più ambizioso, era un tunnel realizzato nel Midwest, il quale permetteva diverse interessanti prove, sebbene molti elementi ad esso relativi dovet-

tero essere riveduti e corretti. Ma lo strumento di Boston continua a mantenere il primato come il più grande e più preciso tunnel del vento a bassa velocità tra tutti quelli costruiti, ed esso potrebbe anzi servire anche oggi come modello per un ulteriore lavoro di ricerca in questo campo.

John P. Glass, in quegli anni studente presso l'Istituto di Tecnologia del Massachusetts, iniziò da principio ed a lui si deve dare il maggior merito per la progettazione del tunnel. Il progetto di Glass venne reso pratico dai membri della Joardan Marsh Aviation League. William H. Philips, egli pure allora studente presso lo stesso istituto cominciò a progettare gli strumenti di misura un anno circa dopo che il lavoro era stato iniziato con il tunnel.

Il tunnel di Boston era lungo 480 centimetri ed aveva un diametro standard di 150 centimetri in tutti i suoi punti, il disegno di Roger Hayward, in fig. 188, mostra la disposizione generale in esso presente. Questo metodo era stato imposto in misura massima da considerazioni di ordine economico.

Un tunnel del tipo convenzionale ad aspirazione avrebbe richiesto un cono di ammissione del diametro di circa 480 centimetri ed una lunghezza di 18 metri, per dare luogo ad un getto uniforme di aria ed, anche in queste condizioni, la corrente di



188. Sezione parziale di un tunnel a vento a bassa velocità.

aria alle basse velocità previste dai progettisti sarebbe stata certamente disturbata da turbolenze aventi origine all'esterno del tunnel stesso. Comprimendo l'aria alla estremità dove si trovava l'elica dello strumento e permettendo all'aria stessa di scorrere attraverso strati di tessuto sino alla camera di prova, venne ottenuto un flusso più che regolare di aria nel tunnel anche se questo aveva una struttura di dimensioni ragionevoli.

La caduta di pressione attraverso al tessuto messo per uniformare il flusso, dell'ordine di 1,5 grammi per centimetro quadrato, riusciva a compensare qualsiasi pressione irregolare derivante da turbolenze create dall'elica e manteneva il tunnel di prova esente dal disturbo determinato da persone che si muovessero nella stanza nella quale l'apparecchio era stato installato.

Il tunnel veniva azionato con un'elica del diametro di 150 centimetri, composta di sei pale talmente larghe da giungere a sovrapporsi con le loro estremità e collegata attraverso una cinghia di trasmissione ad un motore elettrico della potenza di 3 cavalli/vapore, con un giuoco di pulegge di riduzione in modo che la rotazione dell'elica fosse quella di 440 giri al minuto.

La velocità della corrente di aria prodotta dal sistema poteva essere variata da 0,6 a 3,6 metri al secondo, per mezzo di una specie di otturatore a tendina inserito tra l'elica ed il primo filtro regolarizzatore di tessuto. Questo sistema di controllo offriva un vantaggio abbastanza evidente rispetto a quello della variazione della velocità di rotazione del motore, dato che questa soluzione era soggetta a delle irregolarità determinate da variazioni sia pure leggere di velocità della rotazione stessa, a causa delle leggere variazioni di tensione e di frequenza della rete ed anche a causa di piccole irregolarità della tensione di alimentazione, imposte su di essa dagli attriti dei contatti sul reostato, a parte gli inconvenienti di origine meccanica quali quelli dello slittamento di qualcuna delle cinghie o di altri fattori correlativi.

La velocità dell'aria scorrente nell'interno del tunnel veniva misurata con strumenti: una specie di anemometro a pendolo calibrato ed un anemometro del tipo Richards; la pressione nel tunnel durante il periodo della calibrazione venne misurata con una disposizione manometrica, realizzata da Philips, che utilizzava una coppia di semplici bottiglie da latte. Il sistema era

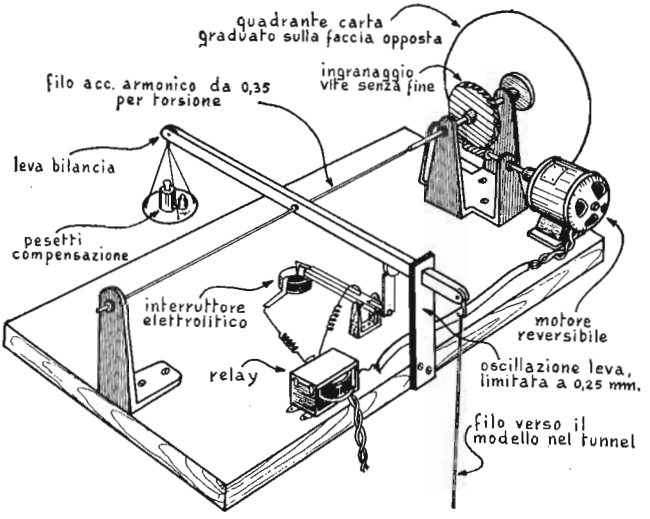
estremamente preciso, ma venne poi abbandonato perché risultava troppo sensibile alle variazioni della temperatura in occasione di un uso prolungato.

I modelli in prova venivano sospesi ad una bilancia a profilo alare. Le prime bilance progettate per un impiego con modelli destinati a volare all'aperto potevano valutare una forza corrispondente ad un peso sino a 100 grammi circa, e risultavano sensibili a variazioni di un decimo di grammo; esse erano del tipo automatico, a molla.

Si trovò però che un tipo diverso di questi apparecchi sarebbe stato necessario per un uso su modelli destinati ad un volo in ambienti chiusi per il fatto che in questo caso le forze in giuoco erano infinitesimali. Questo problema risultò il più difficile incontrato durante tutta la progettazione e la successiva costruzione del tunnel. Un progetto riuscito era stato sviluppato da Philips, dopo molte ricerche, fig. 189. La nuova bilancia del tipo automatico, a torsione, era sensibile a 2 o 3 centigrammi ed aveva una portata dell'ordine dei 2 o 3 grammi.

In tale apparecchio l'estrema sensibilità era stata ottenuta dall'impiego di un sistema amplificatore elettromeccanico nel quale era presente il principio della reazione e le cui caratteristiche principali erano state derivate da uno strumento usato all'Istituto di Tecnologia del Massachusetts, per la misurazione delle tensioni superficiali presenti nei liquidi. Qualunque forza che tendeva a disturbare ed a portare fuori equilibrio il braccio principale, veniva in effetti contrastata da una forza uguale derivata da un motore elettrico a marcia reversibile, azionato da una serie di contatti portati su di un braccio secondario azionato dal braccio principale.

Nel tunnel di Boston erano impiegate cinque di queste bilance, una delle quali misurava la forza verticale, operante sul profilo alare in esame ed altre due misuravano invece le forze negative. Le altre due bilance misuravano le impennate, i rollii ed i dirottamenti. Gli oggetti in prova studiati dal gruppo di Boston consistevano di una serie di profili rettangolari lunghi 75 centimetri e larghi 12,5. Non si trattava di vere sezioni alari, come quelle concepite per gli aerei ma piuttosto di sottili lastre incurvate come una vela rigonfia dal vento. Questa curva era stata irrigidita da un gruppo di listelli laterali.

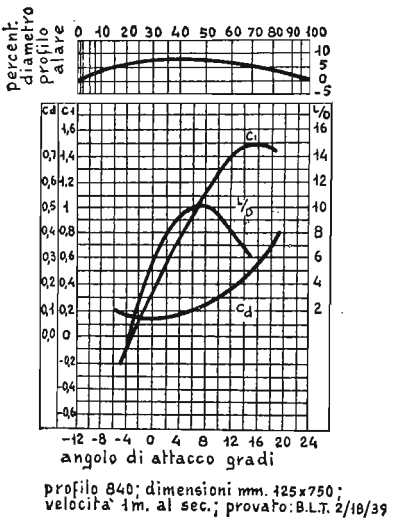


189. Bilancia a torsione ed interruttore elettrolitico per tunnel a vento a bassa velocità.

Partendo dall'arco di cerchio come curva di un profilo alare fondamentale, gli sperimentatori derivarono, con mezzi matematici, una serie di curve in relazione tra di loro ed in cui il picco della curva stessa era progressivamente spostato indietro rispetto al bordo di avanzamento. Le curve sono descritte dal sistema N.A.C.A. in cui il diametro del profilo, a corda, viene preso come unità e le altre dimensioni sono espresse come percentuali rispetto a questa dimensione.

Cinque cifre definiscono pertanto la curva, la prima delle quali indica il punto più alto raggiunto al disopra del diametro del profilo alare; la seconda e la terza forniscono la distanza di questa altezza massima rispetto al bordo di avanzamento e le ultime due specificano invece gli spessori.

Gli sperimentatori trovarono che il migliore profilo alare, dal punto di vista aerodinamico, era quello in cui la sommità della curva, (8 per cento), era situata al 40 per cento dietro al bordo di avanzamento, tabellina in alto fig. 190. Dato che questo profilo alare non presenta alcuno spessore pratico, essendo costi-



190. Caratteristiche aerodinamiche rilevate dalle misurazioni fatte in un tunnel a vento.

tuito da una semplice foglia di materiale, esso viene determinato con il valore 84.000 in quanto, per convenienza, gli ultimi due zeri vengono spesso omessi. Un profilo alare a due superfici non coincidenti ma della stessa forma, con uno spessore dell'ordine del 15 per cento, viene pertanto determinato con la cifra 84015.

L'obbiettivo fondamentale di queste ricerche era quello di misurare due caratteristiche di comportamento di un determinato profilo alare: come le variazioni nella velocità della corrente di aria e le variazioni dell'angolo di incontro del profilo con l'aria influenzano i due fattori positivo e negativo che agiscono sul profilo stesso. Il profilo alare o, se lo si desidera, un modello completo dell'aereo, vengono sospesi nella zona di prova del tunnel, pendenti da una struttura a « T » che a sua volta è collegata con le bilance.

Dopo una serie di rilevamenti a determinate velocità della corrente di aria, il ventilatore del tunnel viene fermato e quindi viene aumentato l'angolo di incidenza tra la corrente d'aria ed i piani del profilo, dal che derivano, sulle bilance, delle indicazioni diverse da quelle riprese nella prima prova. Questa operazione viene quindi ripetuta altre volte, per tutti gli altri angoli di incidenza su cui interessa fare le ricerche.

Le forze così osservate vengono annotate nella misura di centesimi di grammo. Le osservazioni fatte sono trasformate, a mezzo di semplici equazioni, in coefficienti di sostentamento o negativi di freno, di solito individuati con C_e e con C_d, quindi vengono portati su di un unico grafico per costruire una curva od una serie di curve, una delle quali mostri i coefficienti di sostentamento, una quelli negativi e la terza il valore del rapporto tra questi due al variare dell'angolo di incidenza formato dal profilo alare con la corrente di aria che lo investe. La tabella in basso della fig. 190 mostra appunto una serie di queste curve derivate dal profilo alare tipo 84.000.

Il tunnel di Boston può naturalmente investigare il comportamento aerodinamico di un oggetto in prova di qualunque forma. Lo strumento schiude anche possibilità illimitate per l'esplorazione degli effetti di getti di gas a bassa velocità e delle forze negative operanti sui materiali, con il variare della loro costituzione superficiale.

3

COME SI RENDE VISIBILE LA CORRENTE D'ARIA

Quando la trascuratezza che si era avuta per lungo tempo nei riguardi della sezione dell'aerodinamica, interessata alle basse velocità, venne messa in evidenza all'attenzione dei lettori di Scientific American, diversi professionisti in aerodinamica vennero indotti a rispondere. Una delle lettere più interessanti a questo proposito giunse alla Redazione dal dipartimento di Aerofisica dell'Università di Stato Mississippi.

Gentili signori, può darsi che la spiegazione del perché questo aspetto della aerodinamica manchi di attirare i dilettanti, si ritrovi nella poca evidenza delle prove da eseguire a questo

proposito, ed in particolare nella non visibilità dell'aria interessata nelle prove. Forse la soluzione al problema è quella di rendere visibile il flusso di essa.

Le parole « non vedo » sono divenute sinonime con le parole « non capisco » ed è certo dalla comprensione di qualsiasi cosa che deriva l'interesse per la stessa.

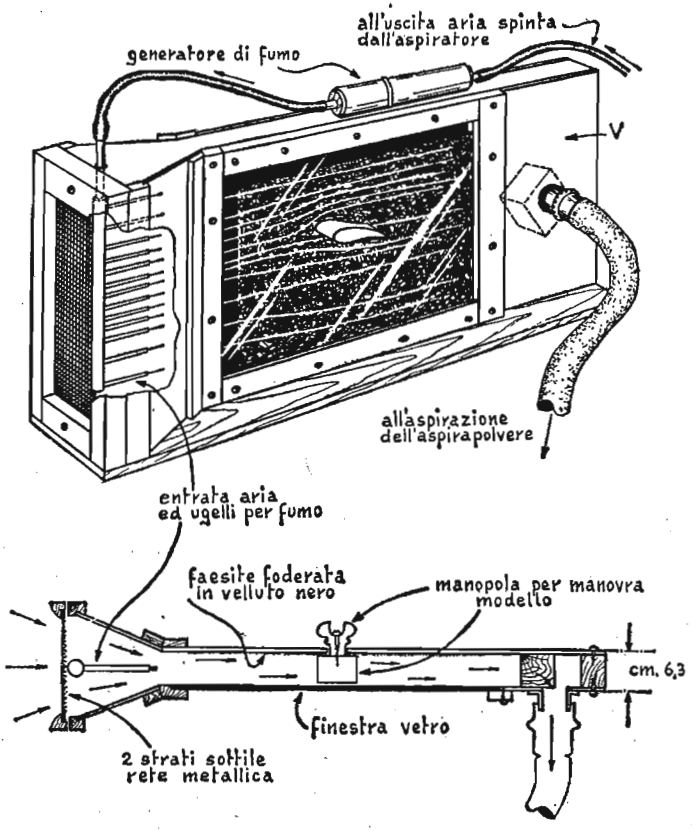
Ebbene, se un apparato così complesso come è una camera a nebbia, che rende visibili i raggi cosmici, può essere riprodotto con i semplici dispositivi illustrati nelle pagine delle vostre pubblcazioni, è certo che anche l'aerodinamica può essere semplificata e resa più attraente.

Il tunnel aerodinamico a fumo è stato usato per lungo tempo per acquistare una maggiore comprensione su vari fenomeni inerenti le correnti ed i flussi. Alexander Lippish ha fatto ampio uso del tunnel a fumo, per la progettazione dei velivoli con ala a delta. Presso il Centro di Ricerca Forestale, alla Università di Princeton, sono in funzione diversi tunnel a fumo; questo strumento aerodinamico si presta ottimamente per la esecuzione di esperimenti da parte di dilettanti.

Io stesso recentemente costruii un piccolo tunnel a fumo progettato per l'impiego di un normale aspirapolvere come fonte di aria compressa od aspirata, v. fig. 191. Il fumo per il funzionamento dell'apparato era prodotto nel modo più convenzionale, ossia con delle sigarette.

Il tunnel vero e proprio venne realizzato con regoletti di legno di 50 × 50 millimetri e con pannelli di faesite temperata. I vari elementi erano stati messi insieme per formare una specie di condotto dell'altezza di 30 e della lunghezza di 60 centimetri. Una delle estremità del condotto, ossia quella che rappresentava l'entrata del sistema, venne resa svasata sino ad una lunghezza di 15 centimetri, il resto della conduttura presentava invece una larghezza di circa 38-40 centimetri. Una delle facce laterali del condotto era stata poi coperta con un pannello di vetro per l'osservazione.

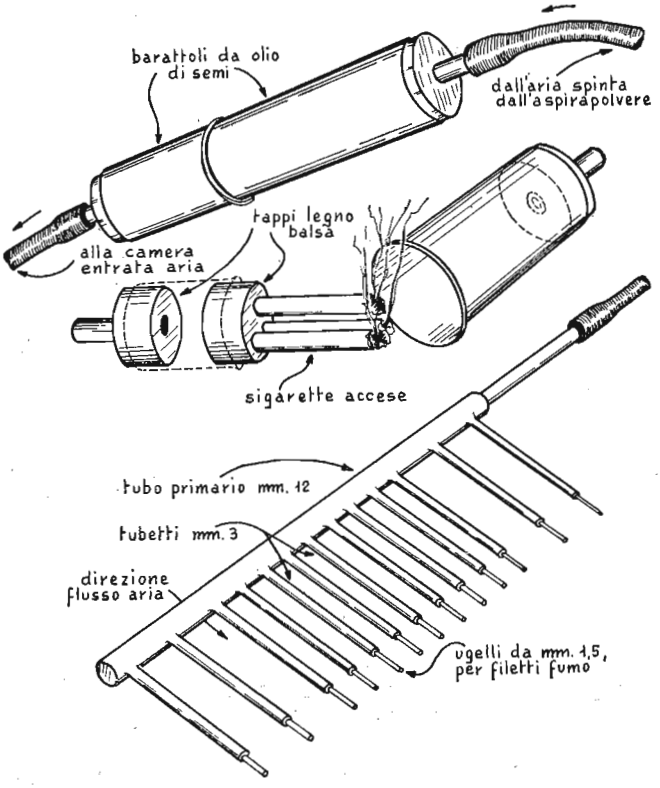
La via d'accesso era sbarrata con una rete formata da due strati di fine rete di ottone, allo scopo di impedire l'entrata nell'apparato di corpi estranei, come anche per regolarizzare il flusso di aria. Verso l'estremità opposta della camera venne poi aperto un foro, allo scopo di consentire l'uscita dell'aria dal



191. Tunnel a fumo del tipo ad aspirazione.

sistema, in direzione dell'aspirapolvere. Il sistema di attacco per il tubo di aspirazione dell'aspirapolvere è stato realizzato partendo dal coperchio per un rocchetto di nastro adesivo da 50 millimetri.

Il fumo veniva introdotto nel tunnel attraverso una specie di pettine, realizzato con una serie di piccoli pezzi di tubo di rame da 3 millimetri saldati ad un tubo del diametro di circa 12 millimetri su forellini eseguiti in linea su di esso, v. fig. 192. A questa specie di pettine era collegato, mediante un pezzo di tubo di gomma, il generatore del fumo, composto da due stretti



192. Generatore di fumo e disposizione degli ugelli.

barattoli con tappi cilindrici realizzati a partire da blocchetti di balsa; inizialmente il generatore operava con una sola sigaretta accesa, ma presto si passò ad un dispositivo che utilizzava tre sigarette, e permetteva quindi la produzione di un fumo di maggiore densità.

Dalla estremità opposta del generatore, partiva un piccolo tubo di gomma che conduceva all'apertura di scarico dell'aspiratore, dove cioè era presente un'aria leggermente compressa, allo scopo di mantenere la necessaria circolazione per tenere accese le sigarette e permettere il funzionamento del sistema. Una volta che tutte le giunture erano state perfezionate e rese er-

metiche con stucco e dopo eliminate, dall'interno del tunnel a fumo, tutte le sporgenze che avrebbero potuto opporsi alla regolare circolazione dell'aria, tutto l'interno del tunnel stesso venne verniciato con colore nerissimo, opaco, eccenzion fatta per il pannello di vetro che doveva rimanere trasparente.

Meraviglia delle meraviglie, questo complesso funzionò alla prima prova; più tardi, comunque, mi sentii insoddisfatto dai filamenti di fumo e trovai che, come nella molatura degli specchi per telescopi, anche in questo caso, il risultato viene migliorato quando venga spesa una certa attenzione ai dettagli che lo riguardano.

Trovai ad esempio che i filamenti di fumo risultavano più netti quando i tubicini del pettine dal quale avevano origine erano allineati accuratamente rispetto alla linea centrale del tunnel e quando non vi era alcuna altra infiltrazione di aria nel complesso, oltre a quella che entrava nel tunnel stesso attraverso l'imboccatura di immissione, ossia quella coperta con rete metallica. Con un poco di attenzione, venivano facilmente ottenuti dei fili di fumo molto netti e vivaci.

I modelli da provare venivano montati nella parte centrale del tunnel, dietro al pannello di vetro che permetteva la continua osservazione. Una manopola era stata applicata al modello e collegata all'esterno e serviva per variare appunto dall'esterno l'inclinazione del modello in questione e variare quindi l'angolo di incidenza da parte di questo con la corrente di aria che lo doveva investire. Per l'ottenimento dei risultati migliori, il modello doveva avere delle dimensioni adeguate per occupare l'intero spazio di circa 40 millimetri disponibile all'interno del tunnel ed avere una lunghezza compresa tra gli 8 e i 10 centimetri.

Dovrebbe essere tenuto presente che l'impiego di sigarette come generatori del fumo ha il vantaggio che lo scarico da parte del tunnel non richiede di essere convogliato all'esterno come è invece necessario nel caso di fumo prodotto da legname deteriorato o da petrolio vaporizzato, sostanze queste che vengono spesso usate nei tunnel professionali di grandi dimensioni: anche dopo una lunga serata di funzionamento, l'atmosfera nella mia cucina non era certamente peggiore di quella lasciata da qualche ospite fumatore accanito; in più, la necessità di alimen-

tare il tunnel con ben tre sigarette ogni volta, mi ha indotto a ridurre notevolmente, anche se temporaneamente, il desiderio di fumare.

La fotografia delle tracce della corrente di aria del tunnel rappresenta uno degli aspetti più interessanti di questa attività dilettantistica; una volta che saranno state raccolte diverse immagini delle varie condizioni verificatesi nel tunnel, è possibile studiarle separatamente o confrontarle per accertarne le varie differenze; ne deriva l'opportunità che le foto siano tutte riprese con una stessa macchina e che questa sia usata sempre nella stessa posizione ed alla stessa angolazione, rispetto al tunnel: le tracce bianche di fumo sul fondo nero della camera del tunnel costituiscono un contrasto eccellente per la ripresa delle migliori fotografie.

Nell'eseguire queste però, occorre una certa attenzione al sistema di illuminazione, onde eliminare le potenziali riflessioni. Lo sfondo nero del tunnel deve essere realizzato in vernice perfettamente opaca ed applicata con uniformità.

La normale carta nera opaca, quale il Bristol e quella usata invece per le buste contenenti il materiale sensibile fotografico, non vanno molto bene in questa utilizzazione, in quanto il loro colore, in effetti, non è veramente nero e quindi inadeguato ad assicurare il necessario contrasto: tale materiale riflette circa il 10% della luce che cade su di esso; il velluto nero e la carta nera vellutata presentano invece un fattore di riflessione del solo 1%.

I modelli dovrebbero essere verniciati in un colore tale da poter essere visibili chiaramente in tutte le loro parti, in ogni foto ripresa: io stesso, dapprima, verniciavo tutti i modelli in bianco ma, in queste condizioni, essi riflettevano una luce eccessiva, tale da compromettere il contrasto con cui dovevano apparire i fili di fumo. Più tardi, mi accorsi che se i modelli venivano dapprima verniciati in bianco e su questo veniva applicata una mano di vernice nera, e quindi un poco di questa copertura veniva raschiata, specialmente in corrispondenza dei bordi più importanti, per definire i contorni, la vernice bianca sottostante sarebbe apparsa in tali zone definendo ottimamente i contorni della figura.

Per l'illuminazione usai due lampade da 200 watt, installate

in riflettori disposti ad un angolo di 45 gradi rispetto al vetro di osservazione dell'interno del tunnel, per mettere in evidenza le tracce di fumo. La macchina fotografica usata era una Kodak costruita nel 1905, nella quale veniva impiegato del film Plus X con un tempo di esposizione di un quarto di secondo ad una apertura di f/8.

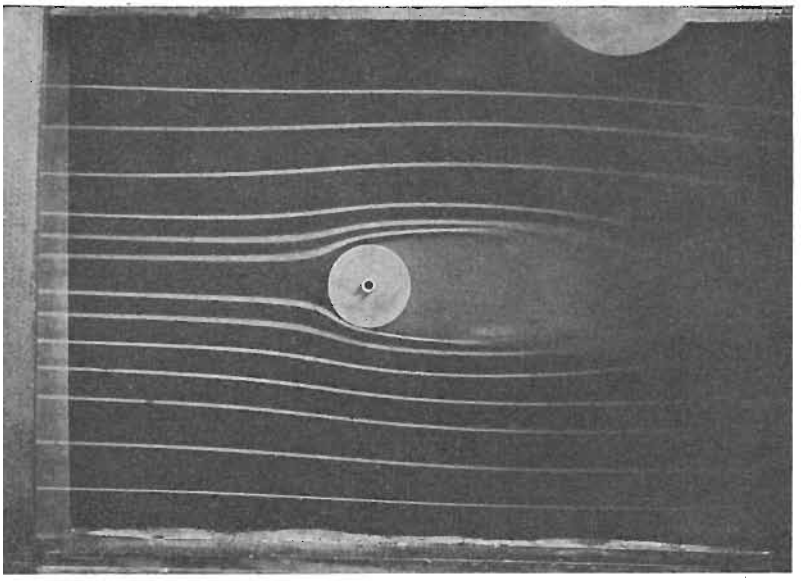
Le illustrazioni, figg. 193, 194, 195, 196, mostrano gli effetti sullo scorrimento dell'aria da parte di una superficie piana inclinata, di un cilindro e di un profilo alare. Il modello di aereo mostra invece come la forza di sostentamento che agisce al disotto delle ali tende a ritorcere verso l'alto i vortici che si producono all'estremità delle ali, allorché questi passano al di là dell'ala. Naturalmente, con lo stesso sistema e con la stessa disposizione, possono essere condotti diversi altri esperimenti: io stesso ho condotto alcune ricerche preliminari sul controllo dello strato limite sia mediante insufflazione come anche per aspirazione nell'interno del tunnel. I problemi della separazione laminare e del passaggio dello strato limite possono essere studiati con relativa facilità.

Le velocità in giuoco in questo tipo di tunnel è dell'ordine di quelle comprese tra 0,6 e 2,5 metri al secondo ed essa può essere regolata chiudendo, più o meno, il foro di uscita dell'aria dell'aspiratore alla estremità opposta a quella dove si trova collegato il tubo al tunnel.

Sia detto per inciso che una specie di diaframma a forma di « V », potrebbe essere applicato all'estremità del tunnel corrispondente allo scarico di questo, v. fig. 191, per impedire al flusso dell'aria di convergere in direzione del foro al quale è collegato il tubo dell'aspiratore.

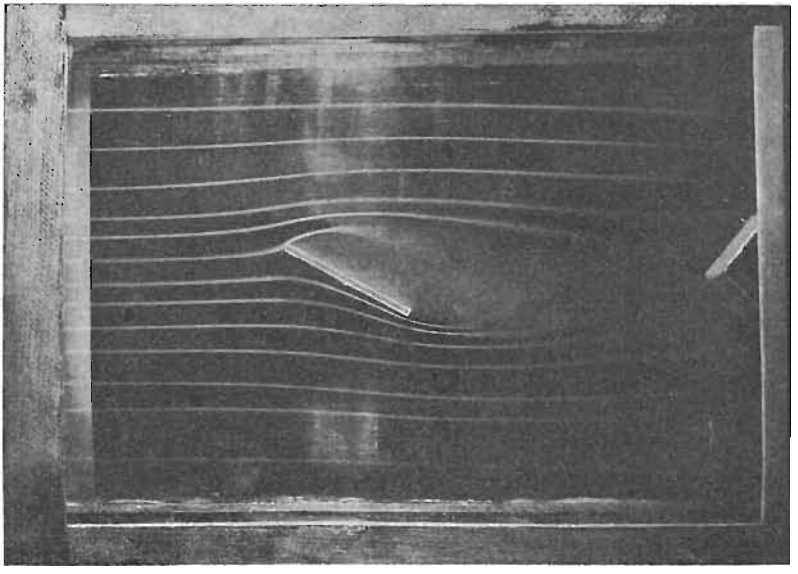
La misurazione della velocità dell'aria si effettua meglio al foro attraverso il quale avviene l'aspirazione: la velocità dell'aria presente nella sezione del tunnel nel quale avviene la prova viene calcolata dal rapporto esistente tra l'area di tale zona e quella del foro di scarico in questione.

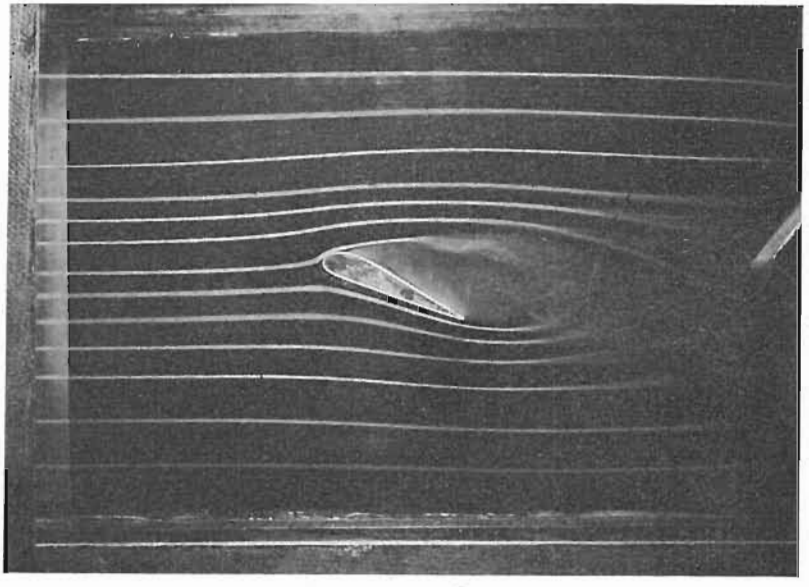
L'apparato non è molto impegnativo né costoso da costruire; costa infatti meno di 2000 lire, eccezion fatta per l'aspiratore e per la macchina fotografica, eppure questo tunnel a fumo può offrire diverse ore di interessanti esperimenti: un produttore semiartigiano di aeromodelli in scatole di montaggio, ha usato



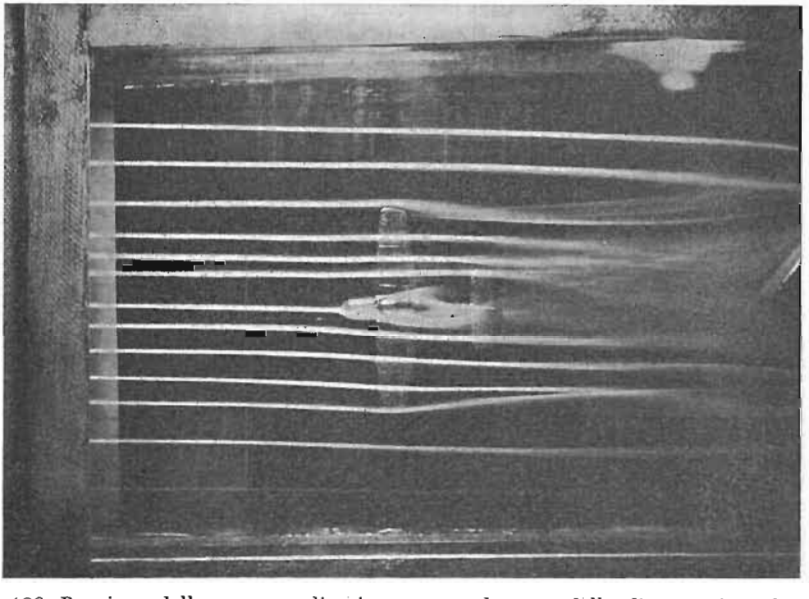
193. Filetti di fumo attorno ad un cilindro.

194. Reazione della corrente ad un piano inclinato.





195. Corrente attorno ad un profilo alare avente inclinazione di sostentamento.



196. Reazione della corrente di aria attorno ad un modello di aereo in volo normale ed orizzontale.

il mio tunnel per la esecuzione di prove sui prototipi, prima di avviarne la produzione, ed ha confermato a più riprese come lo strumento gli abbia reso importanti servigi, per correggere un difetto che altrimenti sarebbe risultato irrilevabile; sono poi certo che molti altri usi possono ancora essere fatti in relazione a questo apparecchio.

J. J. Cornish

Dipartimento di Aerofisica
Università di Stato del Mississippi
State College, Miss.

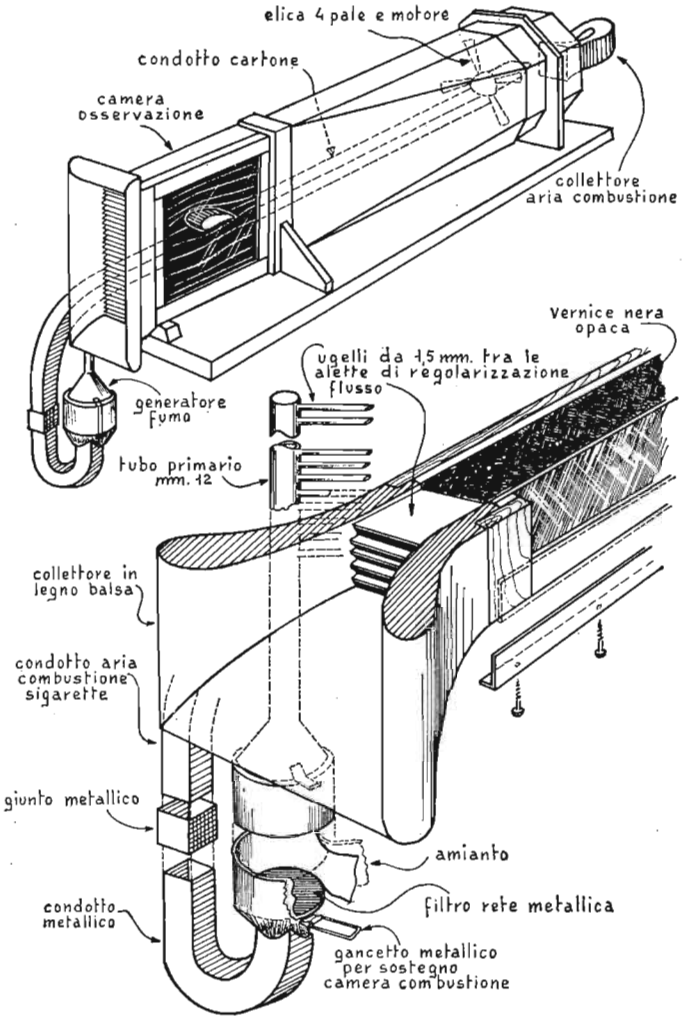
4

TUNNEL A FUMO COSTRUITO DA UN DILETTANTE

Dushan Mitrovich, Studente, di Chestnut Hill, Massach. sottopone il progetto di un tunnel a fumo da lui costruito con un'attrezzatura casalinga, per una spesa inferiore alle 9000 lire.

Un tunnel a fumo, in grado di permettere la rapida valutazione dei meriti relativi di diverse forme aerodinamiche, può essere messo insieme in poche serate, partendo da materiali per un costo complessivo non superiore alle 9000 lire, in qualsiasi laboratorio casalingo. Il progetto da me adottato, v. fig. 197, provvede una camera di osservazione delle dimensioni di 150 millimetri di altezza per 200 di lunghezza per 25 di larghezza.

Il tunnel vero e proprio, che presenta una imboccatura per l'ammissione dell'aria, di forma svasata, viene realizzato a partire da quattro blocchetti di legno di balsa. La corrente di aria all'entrata viene regolarizzata e raddrizzata per mezzo di una



197. Dettagli di tunnel aerodinamico a fumo, con proprio generatore di fumo.

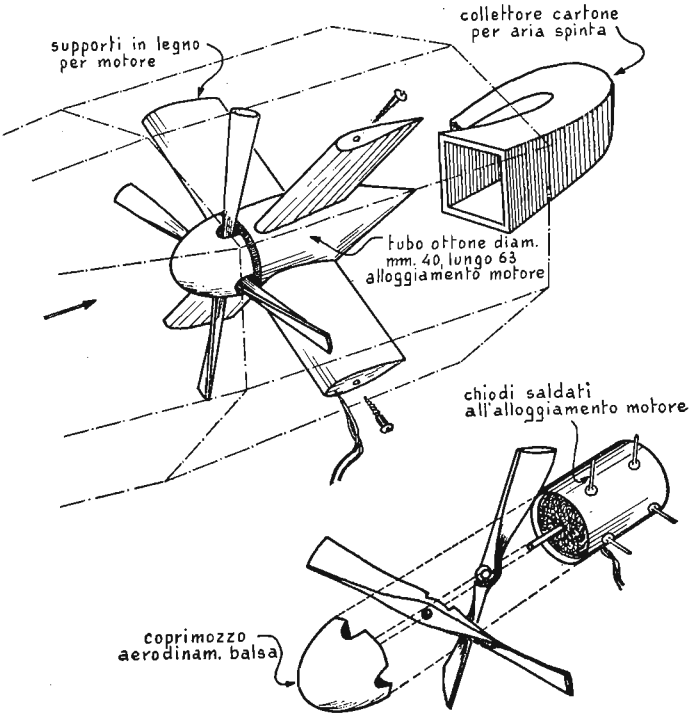
griglia composta da 23 sottili pannelli di metallo sovrapposti uno all'altro ad una spaziatura uniforme di 6 millimetri ed in posizione parallela; in particolare questi pannelli debbono avere una lunghezza di 50 millimetri.

Il diffusore, realizzato con compensato da 6 millimetri, inizia nella forma di un rettangolo piuttosto allungato, per divenire gradatamente una specie di ottagono, alla estremità attraverso la quale avviene lo scarico dell'aria.

L'aria viene aspirata verso l'interno da una coppia di eliche a due pale, disposte in croce, della lunghezza di 225 millimetri in cui, nel punto del perno, siano state eseguite delle intaccature allo scopo di ridurne lo spessore e permettere loro di combaciare e formare quasi un'elica unica a quattro pale; naturalmente, queste due eliche debbono risultare in posizione tale da ruotare sullo stesso piano senza oscillazioni, fig. 198. Questa coppia di eliche è alloggiata nella posizione ottagonale alla estremità dello scarico della macchina e viene azionata da un motorino a tensione di 15 volt, del tipo impiegato di solito per l'azionamento di modelli ferroviari.

Il complesso dell'elica e del motore viene sostenuto in un tubo di ottone, della lunghezza di 50 millimetri, tenuto al centro dello spazio ottagonale per mezzo di quattro staffe a profilo aerodinamico. Il sistema per la produzione della corrente di aria viene reso più uniforme ed aerodinamico con l'applicazione, nella prte frontale, di una specie di sporgenza arrotondata e l'applicazione, in quella posteriore, di una sorta di cono leggermente stondato, in modo che l'asse del primo elemento come anche quello del cono risultino tutti in coincidenza con l'asse esatto del sistema del motore e dell'elica.

Il generatore del fumo, situato al disotto dell'apertura di ammissione dell'aria, consiste di un cilindro del diametro di 10 centimetri e della lunghezza di 6,3 centimetri. La sua parte superiore, resa conica a forma di un imbuto, serve a convogliare il fumo ad una conduttura da 12 millimetri verticale, dalla quale si dipartono 24 tubetti di erogazione del fumo, costituiti da altrettanti pezzetti di tubo da 3 millimetri appiattiti leggermente alla estremità di erogazione, per essere resi alquanto ovali; essi vengono introdotti nel tunnel ad un angolo di 45 gradi e, con l'estremità dalla quale avviene l'erogazione, risul-



198. Motore ad elica nella composizione di Mitrovich per azionare il tunnel a fumo.

tano allo stesso livello con la parete interna, in posizione centrata tra ciascuna delle coppie di pannellini della griglia regolarizzatrice del flusso.

I dettagli costruttivi del generatore di fumo sono chiari e facilmente intuibili dallo schema di fig. 197; nel prototipo sono usati i famosi bastoncini odorosi, acquistabili negli empori e nei negozi di cineserie: questi, anche se più costosi delle sigarette, funzionano assai meglio in questa utilizzazione generando meno calore. Il loro uso è poi preferibile a quello del tetracloruro di titanio, sostanza questa che risulta alquanto corrosiva ed in breve tempo ottura gli ugelli di erogazione. I bastoncini odorosi, tagliati in pezzi della lunghezza di 25 millimetri circa,

vengono intrisi di benzina rettificata e quindi disposti su di una rete metallica che serve da grata. Per fornire alla combustione un quantitativo sufficiente di aria, l'elica deve essere mantenuta in funzione per il tempo nel quale il generatore viene messo al suo posto.

Il mucchietto di questi pezzi viene acceso, e viene rispento dopo aver fiammeggiato per pochi secondi; in queste condizioni continuerà a produrre, per un tempo più che sufficiente per l'esecuzione delle prove, un fumo assai denso.

La velocità dell'aria nella camera degli esperimenti può essere variata entro i limiti di 1,2 e di 4,5 metri al secondo, con la sola regolazione della tensione di alimentazione del motore. La parete posteriore della camera viene dipinta di nero opaco; alla illuminazione per l'esecuzione di fotografie, si provvede con una coppia di lampade tubolari da 35 watt, munite di uno schermo di cartone coperto di foglia di alluminio, allo scopo di formare un vero e proprio riflettore.

Tali lampade sono sistemate a circa 76 millimetri su ciascun lato della camera; per contrastare la tendenza a riflettere presentata dal pannello frontale di vetro che serve da finestrella per l'osservazione dell'interno del tunnel, un foglio di cartone nero opaco viene disposto sul frontale del tunnel e la fotografia viene eseguita con la macchina disposta in maniera che il suo obbiettivo rivolto al tunnel passi per un foro abbastanza esatto, eseguito al centro del foglio stesso; ovviamente la superficie nera opaca di questo cartone deve risultare rivolta dalla parte del vetro.

I modelli in prova sono stati realizzati e quindi collaudati, con le procedure stesse che sono state raccomandate da J. J. Cornish.

5

AERODINAMICA NEL LAVELLO DI CUCINA

Munito di un pannello di vetro, di qualche pezzo di una presa di acqua corrente, il dilettante può indagare sulle forze che vengono generate, sugli oggetti nelle diverse forme, dai venti che li investono. L'esperimento nel quale viene utilizzato il complesso Hele Shaw è descritto da Francis W. Niedenfuhr, del Dipartimento di Ingegneria meccanica, presso l'Università Statale dell'Ohio.

Il problema di modellare una superficie secondo un determinato contorno tiene impegnati i dilettanti in molti campi. Una volta che il disegno fondamentale sia stato definito con certezza, come nella costruzione di un telescopio, il problema da risolvere è principalmente quello delle lavorazioni meccaniche artigianali.

Può non esser facile il preparare uno specchio per telescopio di alta precisione, ma il costruttore sa in partenza esattamente la forma che egli deve almeno tentare di impartire sullo specchio o sull'ottica in lavorazione. Nelle note che seguono viene considerato un progetto il cui obbiettivo è quello di scoprire la forma migliore o la più efficiente per un determinato scopo.

Questo problema si presenta ogni qual volta qualcuno si mette al lavoro per la realizzazione di un modello di imbarcazione a vela da competizione, come anche di un aeromodello e perfino di un comune cervovolante.

Si può dire che qualsiasi ragazzo è capace di costruirsi appunto un cervovolante in grado di elevarsi nell'aria a quote di 50 metri e più, ma l'impresa di progettare uno di questi, pure elementari apparecchi volanti che sia però in grado di salire

più in alto degli altri suoi simili con una determinata lunghezza di filo, è un'impresa veramente complicata.

Il comportamento funzionale di un cervovolante, come quello di un aereo o di qualsiasi altro veicolo che si sposti in un mezzo fluido, dipende in misura critica dalle forme delle sue parti operanti.

Due tipi di forze sono di principale interesse per coloro che debbono progettare forme e profili aerodinamici ed idrodinamici. Una di esse si identifica nel termine aerodinamico di « sostentamento »: in questo caso opera il maggiore effetto ad angoli retti rispetto al movimento del fluido ed essa è la responsabile del sollevamento di un cervovolante o di un aereo come della capacità di una imbarcazione a vela a procedere controvento.

In genere le forme che danno luogo a forze perpendicolari ai filetti fluidi che circondano tali forme, intervengono in un modo o nell'altro per costringere il fluido, qualunque esso sia (aria, vapore, acqua ecc.), a scorrere su di un lato dell'oggetto in esame, con una velocità maggiore di quella del suo scorrimento sulla faccia opposta.

Questo movimento differenziale determina una caduta di pressione sulla parte dell'oggetto sulla quale la velocità di scorrimento è maggiore e, per questo, dalla depressione che si determina su questa parte, deriva una tendenza dell'oggetto a muoversi in tale direzione, come se fosse aspirato.

Se ad esempio, si tiene un foglio di carta orizzontalmente e si soffia sulla faccia superiore di questo, il foglio stesso, invece di subire una curvatura lungo i suoi bordi, tende invece a fare un balzo sia pure momentaneo verso l'alto, anche questa volta perché in un certo qual modo aspirato dalla riduzione della pressione verificatasi al disopra di esso. Lo stesso fenomeno permette di comprendere perché i forti colpi di vento possono riuscire ad aspirare il tetto di una casa, perché due grandi imbarcazioni che precedano appaiate, in posizione parallela e piuttosto vicine, rischino di essere attratte da una forza all'apparenza inspiegabile che le porta ad entrare in collisione; lo stesso effetto spiega anche perché è pericoloso sostare sull'orlo di un marciapiede in una stazione ferroviaria, mentre un treno sta passando velocemente.

La seconda forza altrettanto interessante, esercitata in dire-

zione del flusso, viene chiamata « freno ». Questo effetto che si verifica nell'aria, sulla coda di un cervovolante, è ad esempio, parzialmente responsabile della tendenza da parte di questo a « picchiare » nel vento.

Questa forza è dovuta alla frizione che si determina tra strati di aria adiacenti ed animati di diverse velocità scorrenti attorno al profilo alare. Qualsiasi cosa che determina anche indirettamente la formazione di turbolenze negli strati di aria tende ad aumentare il frenaggio.

Alla velocità di circa 300 chilometri all'ora ad esempio, un'ala di aereo nella quale siano presenti delle sporgenze estranee, quali le teste dei buloni di unione ed i lembi sovrapposti nelle parti metalliche, subisce una forza di frenaggio, maggiore del 50% circa, di quella che la stessa ala subirebbe in effetti, nel caso che le sue superfici fossero perfettamente levigate e senza sporgenze.

Una serie addirittura impressionante di dispositivi, dai bacini di prova per il traino dei modelli, lunghi un chilometro e più, ai tubi per il controllo dell'urto, della lunghezza di un metro solamente, sono stati ideati per indagare sulle forze nelle correnti fluide; gran parte di tali apparecchi, comunque, sono al di là delle possibilità e delle risorse di qualsiasi dilettante.

L'apparato di Hele-Shaw, invece rientra in queste possibilità. Sir George Stokes provò per primo che, quando uno strato sottile di un fluido viscoso, quale l'acqua, viene messo in condizioni di scorrere nello spazio compreso tra due pareti parallele, i filetti fluidi che si determinano si accostano per il loro comportamento, a quelli che si formano in un fluido privo di viscosità. Ludwig Prandtl, successivamente, precisò che l'aria si comporta come un fluido non viscoso all'esterno dello strato limite.

H. J. S. Hele-Shaw costruì un apparato basato sulle osservazioni di Stokes e condusse utili misurazioni relative al flusso del liquido attorno agli scafi delle imbarcazioni. Per questo gli esperimenti presentati da Stokes si riferiscono ad una corrente compresa tra due pareti parallele, Hele-Shaw trovò che dei buoni risultati si sarebbero potuti ottenere lasciando l'acqua scorrere sotto forma di uno strato sottile al disopra di una superficie regolare, lasciando libera la superficie dell'acqua stessa. Questo apparecchio è utile per la ricerca del comportamento di

profili alari, per il fatto che un flusso di aria su di un'ala sottile è un fenomeno essenzialmente bidimensionale, eccezion fatta per quanto accade in prossimità della punta.

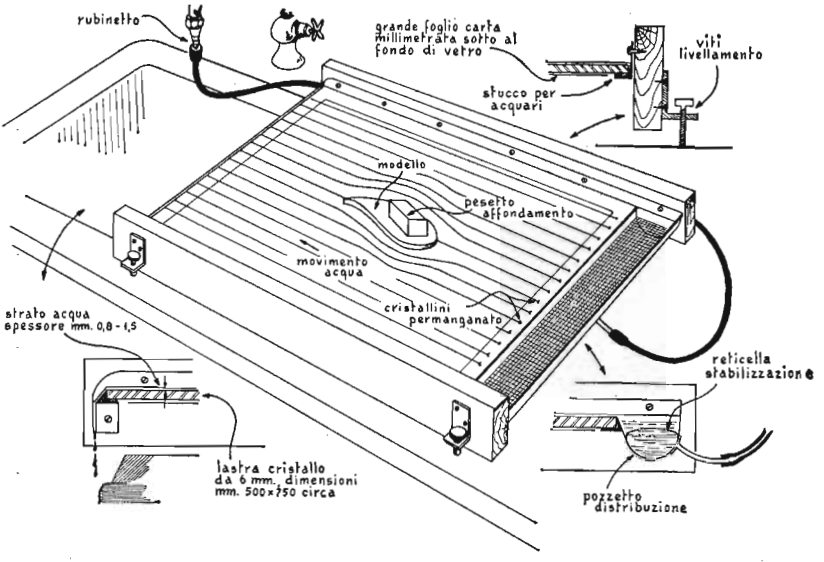
Nell'apparato di Hele-Shaw, un sottile velo di acqua scorre con grande lentezza sulla superficie di una lastra di vetro, attorno ad una sezione trasversale del modello di un profilo alare o di una serie di vele di un modello di imbarcazione, v. fig. 199. I filetti fluidi che si determinano nell'interno del velo di acqua sono resi visibili per mezzo di un colorante quale il permanganato di potassio: essi possono pertanto essere facilmente fotografati per uno studio accurato e per la esecuzione di interessanti confronti e le linee della corrente forniscono anche indicazioni quantitative, per quello che riguarda la distribuzione della pressione attorno alle varie parti del modello.

È evidente che quando un ostacolo riduce l'area attraverso la quale scorre un determinato quantitativo di fluido, la velocità del flusso deve aumentare. Ove questi filetti fluidi scorrano attorno al modello, essi tenderanno ad affollarsi in una zona più ristretta. Dalla misurazione della distanza esistente tra i vari filetti fluidi, resi riconoscibili da filamenti della sostanza colorante, nei vari punti lungo il canale di scorrimento, possiamo ricavare un'idea delle velocità relative e delle distribuzioni della pressione nei vari punti presi in esame.

La costruzione dell'apparato di Hele-Shaw non presenta alcuna difficoltà. La superficie sulla quale l'acqua scorre può essere rappresentata da un pezzo di lastra di vetro delle dimensioni di 500 $\times$ 750 millimetri.

Per il fissaggio delle due parti laterali che affiancano il piano di scorrimento si provvede all'applicazione su ogni lato di uno spezzone di profilato angolare di metallo, possibilmente inossidabile, unito al vetro mediante una sorta di stuccatura con stucco per acquari. La lastra di scorrimento viene mantenuta in piano e quindi nella leggerissima inclinazione voluta per mezzo di viti di livellamento sistemate nei quattro piedini dell'apparato, v. particolare in alto a destra della fig. 199. Un velo di acqua viene inviato in direzione della lastra di vetro, partendo da una vaschetta di riposo la cui sommità sia stata chiusa con un rettangolino di fine rete metallica.

Quando la lastra di vetro è stata sistemata e messa a li-



199. Apparato di Hele-Shaw con un modello in prova, già al suo posto.

vello, l'acqua viene messa in condizioni di scorrere sulla superficie di questa, nella forma di un velo di spessore uniforme. Prima comunque di mettere in funzione il complesso, occorre pulire accuratamente la lastra con sapone e quindi con acqua di ammoniaca, allo scopo di eliminare tutte le tracce di sostanze grasse, che potrebbero essere responsabili della disuniformità del velo di acqua, che anzi, in qualcuna delle zone, potrebbe addirittura non coprire tutta la superficie del vetro, condizione, invece, che è indispensabile; l'operazione della pulitura deve essere eseguita invece che direttamente con una mano, nella quale sono inevitabilmente presenti delle tracce di grasso, con una spatola da tergicristallo di auto, a sua volta accuratamente sgrassata, in precedenza.

Il modello da inserire nella corrente, per l'esame, può essere fatto da un pezzo di foglia di balsa dello spessore di 6 millimetri. Se il modello deve rappresentare una vela, sarà necessario che il suo spessore sia ridotto sino a quello di 1,5 millimetri. Dopo il taglio del modello, si provvede a lisciare la sua superficie inferiore per renderla quanto più possibile levigata e quindi si

rende l'intera superficie di esso impermeabile all'acqua applicandovi due mani di vernice alla nitrocellulosa, nella ben nota qualità usata per gli aeromodelli. Il modello può essere mantenuto al suo posto, sulla piastra di vetro, con piccole gocce di adesivo applicate al disotto della sua superficie in contatto con la lastra stessa, oppure con la semplice applicazione al disopra di esso di un pesetto adeguato, in piombo.

Se al disotto della lastra di vetro si ha l'avvertenza di inserire un grande foglio di carta da grafici, con una millimetratura abbastanza evidente, sarà più facile effettuare delle misurazioni in ordine alla spaziatura esistente tra i vari filetti fluidi.

Quando il velo di acqua ha assunto una forma di scorrimento regolare, si dispone un cristallo di sostanza colorante direttamente a monte del velo stesso, vale a dire nel punto in cui il velo stesso affiora dalla reticella della vaschetta, in maniera che il filamento di acqua colorata tenderà a fluire attorno al modello.

A quel punto che viene detto « di ristagno », appena di fronte al modello, il filetto fluido si sdoppia in due con ciascuna delle due sezioni passante per un lato del modello. Le due metà del filamento tendono a tornare insieme ed a rifondersi lungo il bordo posteriore del modello stesso formando un filamento analogo a quello iniziale, il filo che si sdoppia di fronte al modello, che scorre separato ai lati di questo e torna ad essere unico a valle, definisce lo strato limite della corrente attorno al modello.

Se ora si sistemano altri cristalli di sostanza solubile e colorante alla uniforme distanza di 5 o 6 millimetri uno dall'altro, lungo la linea dalla quale il velo affiora dalla vaschetta, questi daranno luogo alla produzione di una serie di filamenti che scorreranno paralleli sino a che essi siano giunti nella zona nella quale sia presente il modello e, questa presenza determinerà la distorsione rispetto alla retta di talune delle linee: in particolare, alcune linee si curveranno in modo da divenire più fitte, ed altrove si curveranno invece in direzione opposta per assumere una maggiore spaziatura, a seconda delle caratteristiche fisiche del modello.

A questo punto, due semplici formule metteranno gli sperimentatori in condizione di calcolare la velocità comparativa del flusso e la pressione del fluido ai vari punti attorno al modello; tali quantità possono essere calcolate semplicemente a partire

dalla distanza esistente tra i vari filamenti nei punti in cui i rilevamenti vengono effettuati.

Dove il fluido scorre libero e con uniformità, prima che esso raggiunga il modello, la velocità media tra uno dei filamenti fluidi colorati e quello immediatamente adiacente, moltiplicata per una certa costante, è uguale al reciproco della distanza esistente tra i fili stessi: vale a dire 31 millimetri quando la distanza tra i fili è di 6 millimetri.

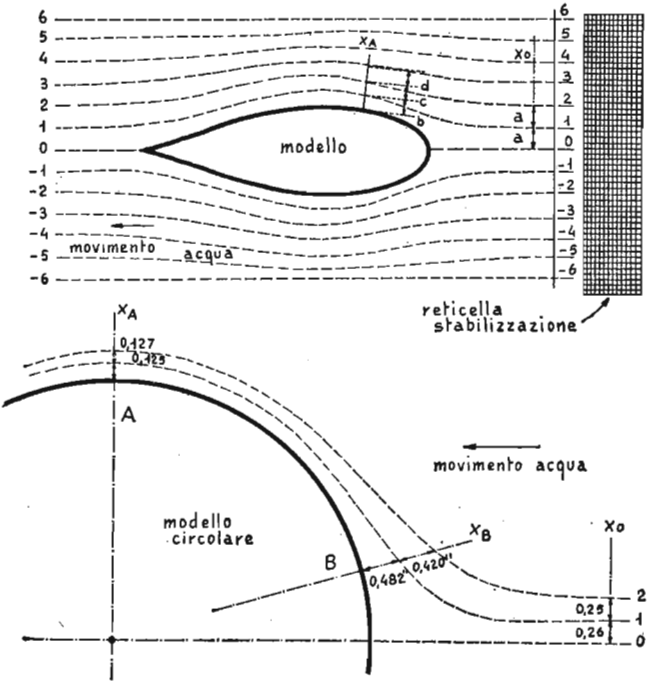
La formula generale è la seguente: $VC = 1/D$, in cui C sta ad indicare il valore numerico della costante e D sta invece ad indicare la distanza tra due filamenti colorati adiacenti. In un punto a monte rispetto al modello, la distanza tra i filamenti colorati può essere espressa con « a » v. fig. 200. La equazione allora viene trasformata in $VC = 1/a$.

Ad un punto A, sul modello, dove la distanza tra la superficie di questo ed il primo dei filamenti colorati, è uguale a « b » l'equazione si presenta nella seguente maniera: $V_A C = 1/b$.

È ora possibile eliminare il valore C mediante una divisione ed ottenere il rapporto seguente: $V_A V = a/b$. In altre parole il rapporto della distanza originaria esistente tra i filamenti, per la distanza esistente tra i filamenti stessi, ad un determinato punto lungo il modello, è una misura della variazione della velocità della corrente, quando questa passa di fronte al modello. Quando la distanza tra i filamenti tende a diminuire, il flusso accelera il suo corso in proporzione alla diminuzione della distanza stessa.

Similmente è possibile calcolare la variazione della pressione del fluido su di un determinato punto del modello, a mezzo di un'altra formula. La differenza tra la pressione esistente nel libero corso e quella ad un punto in vicinanza del modello è uguale a $\{k. [V_A/V^2 - 1]\}$, nella quale espressione la lettera k sta ad indicare il valore della costante.

Illustriamo ora il metodo con un problema specifico: il modello in esame consiste in un ostacolo circolare, v. schema in basso fig. 200. Alla linea di partenza del flusso le linee colorate sono distanti 6 millimetri una dall'altra. Al punto B, sul lato di attacco del cerchio, la distanza è aumentata in modo che il primo filamento risulta a 12,2428 millimetri dalla superficie del modello stesso.



200. Filetti di corrente attorno ad un profilo alare, *in alto*; attorno ad un cilindro, *in basso*.

Pertanto, $V_B / V = 6/12{,}2428$. Ciò significa che la velocità del flusso tra il modello e la prima linea fluida colorata nel punto B è di 0,518 volte la velocità originaria. La variazione della pressione qui è $[k\ (0{,}518^2 - 1)]$, ossia $-0{,}732$. Il segno meno sta ad indicare il fatto che la pressione è rivolta verso l'interno ossia in direzione del modello.

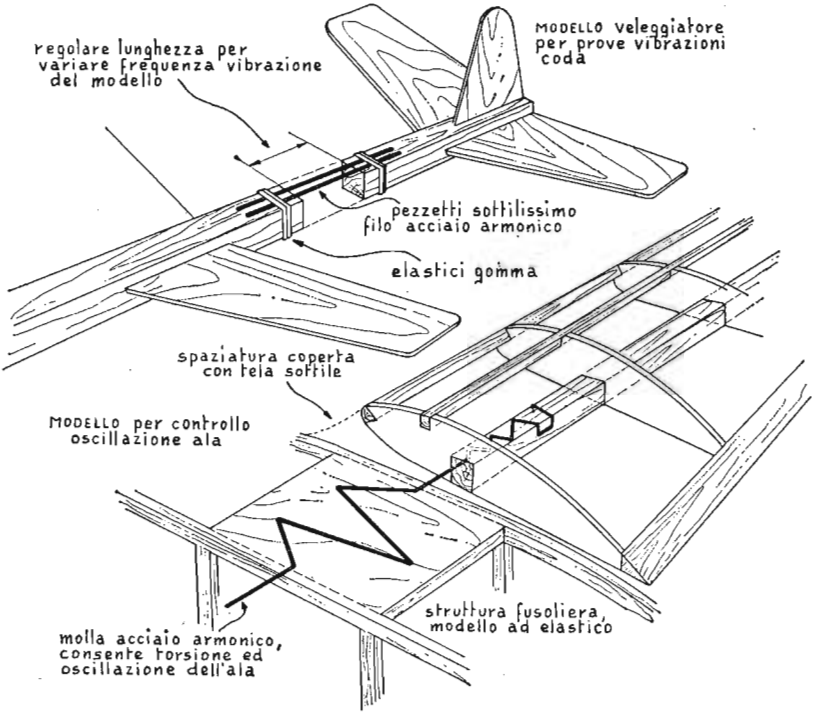
Al punto A, sul modello, la distanza rispetto alla prima linea colorata si riduce a poco più di 3 millimetri; pertanto $V_A / V = 6/3$ ossia 2, il che sta a significare che la velocità del flusso in quel punto è doppia di quella che si ha nel tratto libero di scorrimento.

In questo punto la pressione cade del valore di 3k. Annotando la distribuzione della pressione nei vari punti lungo la su-

perficie di un modello, è possibile valutare la forza ascensionale che viene esercitata su di una determinata forma e rispetto ad un determinato angolo di incidenza con il modello, della corrente di fluido al quale esso viene messo in relazione.

Un altro e diversissimo progetto che può interessare è quello dello studio della dinamica del volo su modelli flessibili di aerei; piccoli veleggiatori di legno si prestano ad essere adattati per l'esecuzione di questi studi.

Quando un aereo vola attraverso una forte corrente di vento, può accadere che esso prenda ad oscillare in su ed in giù con la prua mettendosi, in sostanza, in una vera e propria oscillazione avente una certa frequenza. La fusoliera dell'aereo, che è alquanto elastica, tende a curvarsi nella stessa maniera, ed in



201. Modelli flessibili di aereo, per mettere in evidenza gli effetti delle oscillazioni.

corrispondenza di questa frequenza. Quando i due modi di vibrazione coincidono, il procedere nell'aria dell'aereo assomiglia ad un vero e proprio galoppo, con torsioni ed impennate, in un'oscillazione che, per la raggiunta risonanza, risulta di ampiezza sempre crescente.

Il fenomeno può essere facilmente dimostrato con un modello di veleggiatore; per rendere un modello, che di solito è piuttosto rigido, abbastanza flessibile e dargli la possibilità di mettere in evidenza questo aspetto dell'aerodinamica, si possono introdurre delle mollette, realizzate con pezzi di filo di acciaio armonico, nella struttura del telaio.

Con un poco di ingegno è anche possibile scoprire come si produca la vibrazione delle ali del velivolo inserendo delle cerniere elastiche in punti appropriati delle ali, v. fig. 201. Per mettere in evidenza il classico effetto di oscillazione, le ali dovrebbero essere libere di curvarsi verso l'alto e di torcersi al tempo stesso, rispetto al loro centro assiale.

Dato che gli aerei moderni, pur realizzati con strutture più leggere, si sono trovati ad affrontare delle velocità maggiori, il problema della vibrazione e della cosiddetta « aeroelasticità » sono divenuti di grande importanza nella industria aeronautica.

6

AERODINAMICA NELLA VASCA DA BAGNO

Con leggere modifiche alla portata di chiunque, i piccoli aerei di plastica possono assumere, nell'acqua, lo stesso comportamento dei grandi velivoli nell'aria.

Migliaia di disastri aerei accadono negli Stati Uniti durante ogni pur piacevole fine settimana, senza però che i giornali ne diano notizia. Nessuno comunque rimane ferito durante questi incidenti, eppure essi determinano negli interessati dei danni

assai sensibili, talvolta somme espresse con numeri a 7 e più cifre. Lo sport pericoloso al quale queste statistiche si riferiscono è comunque quello della costruzione e dell'uso di aeromodelli.

Negli Stati Uniti vi sono circa 100.000 entusiasti di aeromodellismo che costruiscono e fanno volare miniature e comunque modelli ridotti di aerei. In questo gruppo figurano piloti di linee aeree commerciali come anche ragazzi che non hanno ancora compiuto i dieci anni.

Non occorre dirlo, questi hobbisti desiderano quasi sempre trovare qualche metodo per collaudare su di un piano scientifico i loro progetti e le loro realizzazioni, senza comunque andare incontro a spese elevate prima di mettere i propri modelli in volo, allo scopo di ridurre l'elevata proporzione di incidenti quando più tardi essi espongono i loro modelli al pericolo del volo.

Mentre discuteva le tecniche della ricerca aerodinamica, un famoso progettista aeronautico diceva una volta: « Se potessimo vedere da vicino l'incidente, tutte le nostre preoccupazioni sarebbero terminate ». George Davis ingegnere aeronautico di Teaneck, N. J. faceva, recentemente, un commento analogo: « Se qualcuno riuscisse a scoprire il segreto per tenere, durante i voli di prova, i modelli continuamente a portata di mano, sarei disposto a pagarli un milione di dollari per ottenere i diritti esclusivi della sua idea ».

David Raspet, dilettante appena tredicenne, pensò di possedere la risposta a questa così sentita necessità: la sua idea era quella di fare « volare » i modelli, in acqua invece che nella sede naturale, ossia l'aria.

Usando dell'acqua, egli riesce a comprimere enormemente la scala delle dimensioni: i chilometri all'ora, divengono centimetri al secondo e la geometria del campo di volo si restringe sino alle dimensioni della vasca da bagno domestica.

Si può far osservare che gli elementi derivati dall'idrodinamica non valgono necessariamente anche per l'aerodinamica: entro certi limiti però la discussione ha valore. Ancora, le nostre cognizioni sulle leggi relative al flusso dei filetti fluidi, a cui obbediscono gli aerei si basa, in parte, sullo studio dell'idraulica; le lezioni apprese nella vasca da bagno possono pertanto essere applicate alla progettazione di un modello di aereo.

A 13 anni, David Raspet, assistito dal padre faceva « volare » dei modelli di aerei, nell'acqua. Con il padre, August Raspet, del Dipartimento di Aerofisica del collegio di stato del Mississippi, scrive questa relazione sul loro progetto.

Durante una movimentata situazione nella vasca da bagno, un sabato sera di inverno David, principale autore di queste note, ebbe occasione di trovare un piccolo modello di aereo di plastica da un lato della vasca.

Questa scoperta sembrava assai più interessante della spugna e del sapone ed, infatti, lo tenne occupato nella esecuzione di diversi esperimenti. Mentre David tentava di fare volare il modello sott'acqua si accorse che esso tendeva ad impennarsi interrompendo così un normale volo di planata. Per migliorare il suo bilanciamento variò il profilo del modello, con l'aggiunta di alcune puntine forzate nel muso di esso e tenute immobili con un poco di sapone. Il risultato ottenuto era quello di una lenta planata di sorprendente regolarità.

Di notevole interesse, questo tipo di esperimento subacqueo offre la possibilità di studi interessanti sul movimento a bassa velocità degli aerei. Dopo molti affascinanti esperimenti di questo genere, David ed il padre decisero di scrivere questa relazione e comunicare con essa, anche ad altri interessati all'aviazione, il piacere di queste ricerche.

Il fatto gradevole riguardante la tecnica che verrà descritta è quello della facilità con la quale essa può essere attuata: quei bellissimi modelli di plastica stampata ad iniezione, che talvolta non sono se non delicate cose da guardare e da non toccare, possono essere invece messi in condizione di volare senza un motore, sott'acqua. Ebbene, tali voli, sia pur con le dovute proporzioni, sono simili ai veri voli nell'aria, perché presentano impennate, avvitamenti, beccheggio frontale e brusche oscillazioni. In più tutto questo può essere osservato direttamente, mentre avviene con movimenti assai lenti, facili da seguire, senza l'aiuto di una macchina da ripresa come accade invece con i fenomeni di rapido svolgimento.

Possono essere facilmente fatte delle misurazioni dell'angolo di planata e della velocità di volo; in più è possibile studiare

la natura dello strato limite ossia di quel sottile velo di aria che avvolge la superficie dell'intero modello senza alcuna interruzione e si può considerare la natura del vortice che si produce all'estremità delle ali del modello, come si può anche investigare l'influenza della impennata sul vortice alla parte superiore delle ali e la natura della interferenza che si produce al punto di attacco delle ali alla fusoliera.

In altre parole ecco una tecnica divertente ed istruttiva che richiede solamente qualche semplice modellino di plastica di aerei ed una vasca da bagno piena. Ove non si voglia o non si possa usare la vasca da bagno, anche una tinozza può permettere alcune almeno delle citate ricerche, specialmente con velivoli di piccole dimensioni; all'aperto, qualsiasi specchio di acqua tranquilla poco profonda ed abbastanza trasparente, senza ostacoli naturali, quali scogli e vegetazioni, può servire altrettanto bene per l'esecuzione di queste ricerche.

I modellini di plastica dei vari tipi di aerei sono in vendita spesso presso gli empori al costo di 50 lire ciascuno ed anche meno. I modelli usati di preferenza dagli autori della relazione, per l'esecuzione degli esperimenti, sono stati uno Spitfire ed un P-40, aventi entrambi un'apertura alare di circa 10 centimetri; vi sono poi dei modelli di maggiore fedeltà, con apertura alare di 16,5 centimetri, che costano circa 150 lire. Una categoria di un verismo ancora maggiore è poi quella in cui i modelli dell'F-51 hanno un'apertura alare di 24 centimetri circa od addirittura quelli in cui il Grumman F9F e l'F-90 hanno un'apertura di 25 centimetri e costano attorno alle 500 lire.

A coloro che siano abbastanza fortunati da potere entrare in possesso dei modelli di velivoli che venivano usati durante la guerra per addestrare le forze armate al riconoscimento degli aerei nazionali ed esteri, va segnalato il modello del Gotha 242, il quale si è dimostrato un velivolo da planata di eccellenti prestazioni. Esso presenta un'apertura alare di 33 centimetri ed è forse un poco ingombrante per essere provato nella vasca da bagno, ma rappresenterebbe un pezzo eccellente per esser usato nelle prove in una piscina od in una vasca di dimensioni adeguate.

I modelli più economici, ossia quelli del costo di circa 50 lire, richiedono, per conseguire delle condizioni soddisfacenti di volo,

solo un leggero appesantimento alla prua della fusoliera, gli autori delle presenti note hanno usato in particolare due puntine da disegno, ancorate con un quantitativo minimo di sapone molle nel foro presente a prua di questi modelli, allo scopo di mettere in perfetto equilibrio la struttura dell'insieme.

Gran parte dei modelli di plastica più costosi presentano delle fusoliere cave che debbono essere riempite completamente di acqua, accertando che siano state eliminate anche le tracce minime di bolle di aria da cui potrebbe derivare un fluttuare nell'interno della cavità delle masse di acqua, in sincronismo con le oscillazioni del modello e si determinerebbe un continuo spostamento del centro di gravità del sistema con una influenza dannosa sulla stabilità del velivolo, di natura analoga a quella che si verifica quando, nella fusoliera di un grande aereo, vi è un carico pesante ma molto mobile, con grave pericolo per la regolarità della navigazione.

Quando il modello risulta completamente pieno di acqua, con assenza assoluta di bolle di aria, si può tentare di farlo « volare » nella vasca da bagno e controllarne le caratteristiche. Di solito occorre un piccolo pesetto di piombo od un paio di chiodini applicati nel muso della fusoliera o nel cappellotto che di solito copre l'asse centrale dell'elica, con cui si riesce facilmente ad ottenere un sufficiente bilanciamento longitudinale.

In queste condizioni il modello si dovrà comportare, nell'acqua, nella maniera esattamente uguale a come si comportano i modelli in aria con la sola eccezione della velocità enormemente minore del volo stesso. Se il modello presenta la tendenza ad impennare occorre aggiungere un ulteriore quantitativo di pesi sul muso di esso; ove invece si verifichi la condizione opposta, occorre diminuire il quantitativo della zavorra a prua.

Quando poi il perfetto bilanciamento viene ottenuto, si può contare su di una navigazione regolare, a livello pressoché costante.

Nei modelli di aerei di tipo a getto od a reazione, non occorre che l'apertura che si trova alla parte anteriore del modello o sulle ali, nel caso di velivoli a più motori sia chiusa poiché, quando il modello stesso viene riempito di acqua, il liquido scorre attraverso queste aperture e quelle posteriori di scarico a basse velocità.

Nei modelli da ricognizione può essere necessario aprire due fori, uno dei quali alla sommità della carlinga ed uno al fondo della fusoliera, per accertare che l'intera fusoliera risulti appunto riempita di acqua. Si possono inoltre effettuare diverse prove, a varie condizioni di carico alare: quando si vogliono creare delle condizioni di carico basso, occorre riempire la fusoliera di cera fusa, quando si vogliono invece dei carichi superiori, si tratterà di riempirla con un liquido a maggiore densità; in questo caso, occorrerà però tenere presente che la fusoliera stessa, dopo avere accertata l'assenza assoluta di bolle di aria nel suo interno, deve essere chiusa ermeticamente.

Quando un modello che risulta leggermente pesante di coda viene lanciato per una normale planata, tende a trasformare la sua avanzata in una impennata: in tal caso, se il modello è perfettamente simmetrico, riprenderà rapidamente la sua posizione con un leggero abbassamento della prua, se esso è invece leggermente assimmetrico, scenderà in una spirale od in una vite a lento movimento: anche questa evoluzione sarà veramente affascinante da vedere.

Il modellista appassionato alla ricerca può accorgersi ad esempio del suo desiderio di andare oltre ai semplici esperimenti con modelli di costruzione convenzionale. Gli autori suggeriscono a questo proposito l'idea di tagliare la parte orizzontale della coda e quindi provare ad adattare le altre caratteristiche del modello affinché questo abbia ugualmente un volo stabile. Su modelli ad ali rivolte all'indietro, quale ad esempio l'F-90, risulta molto facile riuscire ad ottenere un volo regolare anche senza la citata porzione orizzontale della coda.

La funzione della porzione verticale della coda può invece essere osservata quando al tempo stesso od in epoche analoghe, un modello con tale coda ed uno identico a cui tale porzione di coda sia stata asportata, vengono fatti « volare » nella vasca. Senza tale elemento, un volo stabile è praticamente impossibile: se il modello si impenna è impossibile che si rimetta in condizioni normali ed esso entrerà appunto in una spirale che si concluderà al fondo della vasca.

Quando un modello rettificato per un volo diritto viene fatto partire per una scivolata di lato, esso si riprende entro un tratto assai breve, ma se, nella sua costituzione, risulta alquanto

pesante di coda, tende ad uscire dalle scivolate con una picchiata a spirale.

Queste rappresentano una parte solamente di tutte le prove di stabilità che possono essere condotte; è ad esempio possibile esaminare il modello nella sua risposta agli improvvisi colpi di vento (prodotti agitando una mano sott'acqua, mentre il modello sta procedendo).

È anche possibile riprodurre qualcuna delle correnti termiche ascendenti che i modelli ed i veri aerei così spesso incontrano durante il volo: per produrla, basta mantenere aperto un rubinetto nella vasca ottenendo un getto abbastanza consistente; in tali condizioni una colonna di acqua, partente dal rubinetto stesso, si affonda nello spessore dell'acqua contenuta nella vasca ma, attorno ad essa un'altra colonna, quasi concentrica, tende a risalire verso l'alto.

Quando il modello s'incontrerà con questa massa di acqua in movimento verso l'alto, reagirà in maniera del tutto simile a quello che sarebbe il suo comportamento in aria. Come un aliante, un uccello od un modello, si innalza in una colonna termica atmosferica, anche un piccolo modello nella vasca presenterà un aumento di quota di diversi centimetri, quando risulterà investito da questa corrente.

Una delle caratteristiche veramente interessanti delle prove di modelli sott'acqua è quella che la massa del fluido nella quale i modelli stessi si muovono è originariamente del tutto priva di zone di turbolenza, condizione questa assai difficile da ottenere invece nell'aria.

Per questa ragione le planate, fatte compiere dal modello nella massa di acqua di una vasca, costituiscono una effettiva misura delle prestazioni del modello. Il metodo per condurre queste misurazioni è semplicissimo; occorre, per iniziare, fare due segni di riferimento al fondo della vasca, distanti 100 centimetri uno dall'altro, magari tracciandoli con una matita grassa od anche con delle striscette di nastro di plastica adesiva, quindi si tratta di lasciare il modello nell'acqua in un punto prossimo alla superficie e che risulti sulla verticale con il primo di questi due segni, mantenendo l'orientamento del modello tale per cui esso tenda a planare nella direzione del secondo segno di riferimento. Con questi elementi, il rapporto di planata è facile

da calcolare se viene posto un poco di attenzione nel far partire il modello per la planata corretta e con la normale velocità di volo del modello stesso.

I modellisti alla ricerca della precisione potranno essere interessati a cronometrare la velocità del « volo » con un cronometro a pulsante; da questa velocità e dalle condizioni di carico alle ali, i tecnici sono in grado di calcolare il coefficiente di sostentamento del modello; inserendo poi tale coefficiente come anche il rapporto di planata del modello in un calcolo matematico, sarà possibile risalire al coefficiente di frenata.

È anche possibile attuare nella vasca da bagno delle vere e proprie gare; gli autori delle presenti note ebbero a volte una competizione di questo genere, usando modelli di un P-40 e di uno Spitfire del costo di 50 lire: lo scopo della prova era quello di accertare chi dei due concorrenti fosse stato in grado di ottenere dal proprio modello la migliore condizione di volo, mediante adattamenti e miglioramenti ai profili ed alle strutture.

Le fusoliere di entrambi i modelli erano cave e vennero riempite di cera fusa, le eliche vennero eliminate, le coperture frontali degli assi delle eliche stesse vennero pareggiate con sottile cartavetro; venne altresì eliminato anche il carrello di atterraggio, mentre tutti gli spigoli acuti vennero smussati, tutti quelli già tondeggianti vennero eliminati oppure notevolmente ridotti con un lavoro di lima.

Anche la carlinga venne riempita con cera da modellare allo scopo di portarla allo stesso livello delle restanti superfici della fusoliera, in maniera quindi da eliminare qualsiasi discontinuità delle superfici stesse. Una volta che tutto questo venne realizzato, il rapporto di planata era aumentato dall'originario 2/1 al 3/1, ossia con un miglioramento del 50 per cento: il modello dello Spitfire vinse la competizione, con un rapporto di planata del 3,25 ad 1.

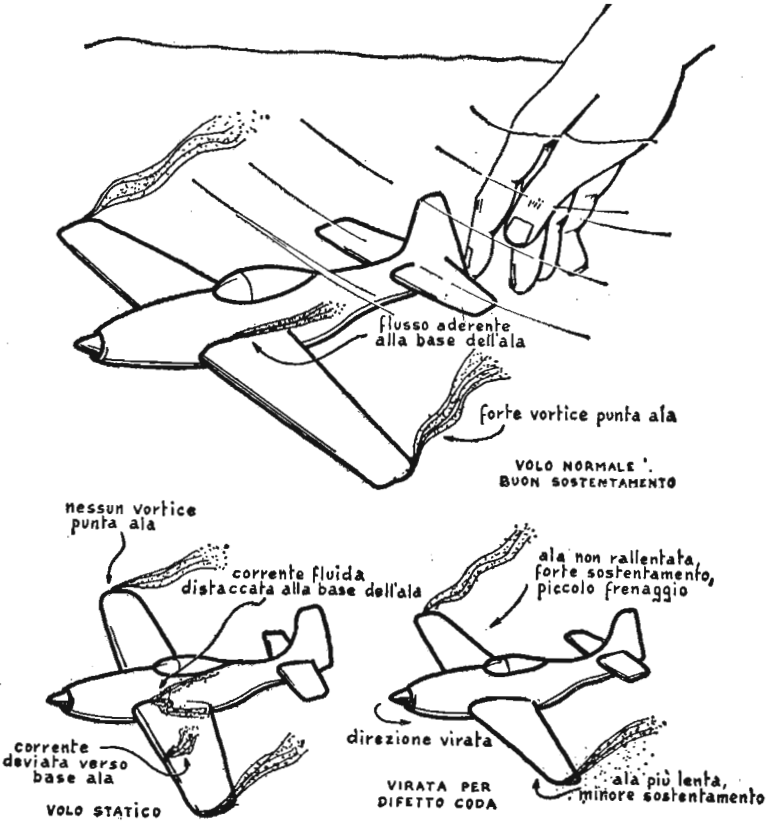
Lo stesso procedimento per la riduzione del frenaggio può essere applicato a modelli di plastica di maggiori dimensioni; in genere, i modelli di aerei ad elica debbono essere liberati appunto dalle eliche ed i fusi antistanti alle eliche vanno pareggiati ed i bordi di attacco delle ali e delle altre strutture debbono essere resi perfettamente levigati e smussati. Le inse-

gne dei modelli, sia in rilievo che incise sulle parti della fusoliera e sulle ali, debbono essere resi perfettamente levigati e smussati. Le insegne dei modelli, sia in rilievo che incise sulle parti della fusoliera e sulle ali, debbono essere eliminate con cartavetro nel primo caso, o con una vernice di riempimento nel secondo.

Altro affascinante ed istruttivo esperimento della serie è quello di rendere visibili le correnti dello spostamento dell'acqua attorno al modello, mentre questo attraversa la massa del liquido. In un tunnel a vento, questo importante obbiettivo viene conseguito iniettando dei filamenti di fumo nell'interno della camera in modo che possano lambire le varie parti del modello; nella corrente serie di esperienze, lo stesso obbiettivo viene conseguito applicando un piccolo cristallo di permanganato di potassio al modello, con un poco di sapone molle: mentre il modello « vola » il permanganato si dissolve nell'acqua, lasciando dietro al modello una scia visibile, di colore rosso acceso. Se, ad esempio, il cristallino di permanganato, viene disposto all'estremità dell'ala, è possibile osservare l'arricciamento che si determina nella scia da esso lasciata, a causa della presenza dei ben noti vortici, v. fig. 202, in alto.

Se il modello viene lasciato in modo che tenda ad impennarsi si potrà notare il primo sintomo della perdita della forza di sostentamento nella riduzione del vortice terminale, presente alla punta delle ali. Quando poi il modello rientra in condizioni più normali una volta uscito dall'impennata, il vortice terminale torna presente con notevole intensità. La forza di sostentamento può considerarsi proporzionale all'entità del vortice terminale del sistema.

Si dispone un cristallino di permanganato al punto di unione tra l'ala e la fusoliera sulla faccia superiore dell'ala stessa, in direzione della parte frontale o di attacco rispetto alla marcia, indi si fa « volare » il modello sott'acqua, usando quest'ultima preferibilmente tiepida allo scopo di ottenere al tempo stesso una più rapida soluzione del cristallino, ed una più intensa traccia di colore. Si noterà, in queste condizioni che, quando un modello si avvicina alle condizioni dell'impennata, la scia corrispondente al filetto fluido identificato dalla scia colorata si allontana dalla superficie del modello, particolare in basso a si-



202. Aerodinamica di un modellino di aereo dimostrata con un « volo » subacqueo, in una vasca da bagno.

nistra di fig. 202. La forza di sostentamento esistente in una regione nella quale questo filamento è molto distaccato dal modello, è assai meno intensa di quella che si riscontra in zone in cui il filamento risulta più accostato. Sui modelli di grandi dimensioni, o nelle prove di volo di modelli a grandezza naturale, le zone dove il filetto fluido si distacca dalle parti del velivolo sono di solito indicate per mezzo di piccoli mazzetti di filo di lana, fissata lungo le superfici degli aerei, nei punti più adatti.

È possibile osservare quello che accade quando un velivolo si approssima ad un'impennata sistemando un cristallo di permanganato nella zona centrale della faccia superiore di una delle ali; durante l'impennata il flusso della massa attraversata è rivolto in dentro, ossia in direzione della fusoliera. Ciò dimostra che le pressioni che agiscono sull'ala in impennata sono inferiori, nella zona prossima alla base dell'ala stessa, a quelle che in effetti sono presenti in vicinanza della punta.

Si può anche osservare l'effetto dei disturbi superficiali che si determinano sulle masse di aria attraversate dal velivolo ed in particolare di quelle che sono tagliate dall'ala. Se, ad esempio, si dispone un filo sulla faccia superiore dell'ala in direzione dell'apertura alare a circa il 25 % dall'estremità della corda sarà possibile constatare due diverse possibili soluzioni. Se il filo viene posto su una sola delle ali, esso tenderà a forzare il modello in una stretta virata in quanto l'ala sulla quale si trova il filo perderà il suo potere di sostentamento prima dell'altra. Ne deriva che questo filo ha un vero e proprio influsso negativo sulla forza di sostentamento. Un filo sistemato in posizione avanzata sull'ala renderà turbolenta la corrente di acqua passante sulla superficie dell'ala.

La linea colorata corrispondente al filetto fluido della superficie tenderà, quindi, ad allargarsi come se fosse emessa da un getto molto largo. Sarà comunque possibile notare che il filetto fluido non si separa così prontamente come su di un'ala normale. Uno strato limite in cui siano presenti delle turbolenze, si sdoppia più tardi di quanto accade per uno strato regolare e laminare.

In questi giorni di elevata tecnicizzazione, anche nel modellismo, ci si deve rendere conto del ritmo in cui queste prove di volo vengono condotte. Un elemento che occorre conoscere è ad esempio, il « numero di Reynolds » che rappresenta la misura del flusso dello strato limite attorno al velivolo, ad una determinata velocità. Ad un numero di Reynolds di 60.000 nell'aria, in gran parte dei modelli di velivoli le prestazioni sono mediocri, a causa dell'aumento del frenaggio. Se le condizioni di volo del modello sono leggermente inferiori rispetto al significato numerico di questa cifra, è possibile migliorare le prestazioni del velivolo aggiungendo un pezzo di filo all'ala, od anche rendendo alquanto ruvida la superficie del bordo di at-

tacco dell'ala stessa, allo scopo di aumentare la proporzione delle turbolenze prodottesi.

Nell'aria, il numero di Reynolds, sta ad indicare il prodotto del numero di miglia orarie della velocità dell'aereo, per il numero di piedi della corda, per 10.000. In acqua, il numero di Reynolds si trova moltiplicando la velocità in miglia orarie per la dimensione della corda ancora espresso in piedi, e moltiplicando il prodotto ottenuto, per 150.000, il che significa che il numero di Reynolds, per lo spostamento nell'acqua, risulta di 15 volte maggiore di quello per l'aria, nelle stesse condizioni, naturalmente; l'apparente divario non esiste in quanto è inevitabile che, immersi nell'acqua, i modelli si spostano assai più lentamente che nell'aria.

Si può valutare facilmente il numero Mach del volo subacqueo di un modello. Va ricordato che il numero Mach è semplicemente il rapporto della velocità alla quale un corpo si muove rispetto alla velocità di avanzamento del suono quando questo procede nello stesso mezzo: in acqua, ad esempio, la velocità del suono è dell'ordine dei 1500 metri al secondo, pertanto, quando il modello si sposta alla velocità di 30 centimetri al secondo, come accade nel caso del modello Grumman F9F, il numero di Mach di tale modello è dell'ordine di 1/5000 di Mach. Come si può vedere, non vi è dunque da preoccuparsi con la barriera del suono e con gli effetti delle onde di urto, nel condurre queste esperienze.

Sebbene anche il « volo » senza motore sia abbastanza affascinante, potrà intervenire certamente il desiderio, dopo un certo tempo di esperimenti, di tentare sul modello qualche sistema di propulsione.

Nel caso del modello in plastica del P-51, sarà possibile munirlo di un adatto motore: si installa una piccola bronzina o cuscinetto, del tipo a spinta sulla parte frontale del muso, si fora la plastica nel punto centrale di questo, e quindi si applica un pezzetto di filo di acciaio armonico con un occhiellino nella parte posteriore, destinato a servire da asse per l'elica, con l'occhiellino stesso, destinato ad accogliere l'elastico (due capi di gomma con sezione di 3 millimetri ancorata all'estremità opposta, alla parte interna della coda del velivolo).

Una piccola elica si applica alla parte anteriore del filo di

acciaio dopo avere eseguito, in questo, una piegatura ad anello, che possa poggiarsi sulla bronzina o cuscinetto reggispinta, impedendo all'asse stesso di essere tirato indietro dall'elastico ma consentendogli di girare sotto la spinta dell'elastico, trasmettendo la rotazione all'elica.

Ovviamente come nei motori ad elastico installati su modelli volanti, anche in questo caso si tratta d'impartire la carica facendo ruotare l'elica in direzione contraria a quella della sua rotazione corrispondente all'avanzamento, fino a che la coppia di elastici nell'interno non appaia sufficientemente ritorta e tale da avere immagazzinato una sufficiente energia.

Poi, tenendo per il momento ferma l'elica con un dito si immerge il velivolo nell'acqua, preferibilmente verso il fondo della vasca e quindi lo si lascia libero: se le varie condizioni necessarie saranno state rispettate, si potrà osservare una bella evoluzione del modello, il quale tenderà ad acquistare quota e potrà giungere sin quasi alla superficie dell'acqua, in una o due occasioni successive.

Per la propulsione a getto di un modello di aereo che anche nella realtà è appunto a reazione, è possibile raggiungere lo scopo in una maniera molto semplicistica; si tratta di introdurre nella cavità della fusoliera o del cofano del motore a getto, ove questo esista, qualche granello di ghiaccio secco, indi chiudere tutte le aperture aventi accesso a tale cavità eccezion fatta per un piccolo foro posteriore, di riempire l'intero modello con acqua, e quindi lanciarlo nella vasca a metà della profondità di questa: il gas di anidride carbonica liberato dalla diretta evaporazione del ghiaccio secco, affiorerà sotto una certa pressione dal foro di scarico e, per reazione, determinerà l'avanzamento del modello.

Gli autori delle presenti note sperano che anche i lettori che si dedicheranno alle ricerche da loro segnalate potranno dilettarsi alle esperienze di questa forma particolare di studio dell'aerodinamica, in « una vasca da bagno ». Lo stesso Archimede stando in una vasca analoga fece un'importante scoperta.

Ovviamente i lettori hanno poche probabilità di fare delle scoperte altrettanto importanti, ma potranno almeno apprendere molti elementi fondamentali di aerodinamica e troveranno il modo di trascorrere diverse ore nella forma più piacevole di

una ricerca che si è dimostrata di estremo interesse non solo per dilettanti, ma anche per i professionisti e perfino per gli scienziati. Forse taluni dei lettori potranno poi escogitare nuove variazioni su questi interessanti esperimenti.

7

MISSILISTICA PER DILETTANTI

Gli uomini che oggi inviano i razzi nelle profondità dello spazio fecero le loro prime esperienze da dilettanti. Allora, come ora, essi aspiravano a metter piede sulla luna. Oggi, migliaia di privati fanno esperimenti con razzi. Elbert G. Barret e John H. Granger della Società di ricerche sui Missili a Reazione danno istruzioni dettagliate per la costruzione e il lancio di due razzi sperimentali.

Se durante una gita domenicale in campagna, capitasse di vedere una sottile scia di fumo bianco elevarsi a una trentina di metri nell'aria, si può esser certi di trovare alla sua origine un gruppo di scienziati dilettanti, che sarebbero egualmente abili nel maneggiare esplosivi chimici, equazioni differenziali e utensileria meccanica.

In poche parole, si tratterebbe di dilettanti sperimentatori di razzi. A volte essi sognano di metter piede sulla luna e i loro vicini desidererebbero magari che vi riuscissero o per lo meno che se ne andassero da un'altra parte! A volte il rombo dei loro motori a razzo si sente giorno e notte. Sebbene i missilisti dilettanti godano di poca simpatia da parte degli abitanti del posto, tuttavia hanno molto entusiasmo e pertinacia. Da trent'anni si dedicano a questa attività e da loro sono venuti fuori quasi tutti i più importanti tecnici professionali in materia di razzi.

La missilistica non è vocazione per dilettanti solitari, in quanto richiede possibilità superiori a quelle di cui uno può disporre normalmente, da solo. Gli sperimentatori di missilistica mettono assieme i loro talenti e le loro finanze; che essi ottengano risultati favorevoli lo dimostra il consistente numero di gruppi dilettantistici di missilistica sparsi negli U.S.A.

Al contrario di quanto possano suggerire gli scarni titoli giornalisti, questi gruppi non sono composti da ragazzi irresponsabili, non qualificati, in cerca di emozioni, votati all'autodistruzione. È vero, naturalmente, che capitano incidenti; ma si vive in un'epoca di pericoli. Tuttavia, ancora non si è avuto nessun caso di gravi conseguenze quando siano stati messi in pratica i metodi raccomandati dalla presente relazione.

Il moderno hobby della missilistica è nato in Germania nel 1927, con la formazione di un gruppo che comprendeva Willy Ley, Max Valier e Johannes Winkler. Nel 1931 i dilettanti tedeschi avevano già costruito un razzo a combustione liquido che poteva raggiungere la quota di 1500 metri.

Wernher Von Braun, Hermann Obert e molti altri entrarono nel gruppo, che in un certo periodo giunse ad avere circa 1000 membri. Quando i nazisti giunsero al potere, l'associazione fu sciolta ed il suo materiale ed i risultati sperimentali requisiti.

Un altro gruppo di pionieri era rappresentato dalla Società Interplanetaria Americana, formata nel 1930 da sette persone a New York. I primi anni di vita del gruppo furono irti di difficoltà, principalmente per la mancanza di un campo permanente di prove. Spesso, terminato un lancio di prova su un terreno avuto in prestito, il gruppo doveva caricare alla svelta tutte le sue attrezzature sulle auto e filare a casa, appena in tempo prima dell'arrivo della polizia. Ma l'associazione resistette.

Infine, con l'impiego di piattaforme per le prove statiche, distinte dalle prove in volo, fu realizzato da James H. Wyld un motore per razzo che funzionava abbastanza bene e con continuità. Egli ed altri tre membri riuscirono alla fine a raccogliere capitali sufficienti per formare quella che in seguito è divenuta una ben nota Ditta costruttrice: la Reaction Motors Inc.

Alcuni dei loro motori hanno segnato dei primati impressionanti: hanno spinto il Bell X-1, primo aereo che abbia superato la barriera del suono, ed il razzo Martin Viking, detentore

per parecchio tempo del record di altezza — 4224 chilometri — per razzo monostadio. Nel 1933 la Società Interplanetaria Americana cambiò nome in Società Missilistica Americana: dal 1940 il gruppo non ha più potuto dedicarsi a lavori sperimentali perché i suoi componenti si sono sparsi dovunque e molti sono entrati nel campo professionale.

Un terzo gruppo di pionieri è la Società Interplanetaria Britannica. Il giorno in cui l'uomo riuscirà a viaggiare nello spazio è stato senza dubbio ritardato notevolmente dalla legge inglese che proibisce ai privati di fare esperimenti missilistici. Ma i dotati membri della Società Inglese hanno continuato a pubblicare una bella rivista dedicata al volo spaziale ed argomenti affini.

Lo scoppio della II Guerra Mondiale interruppe il lavoro di tutte le Associazioni missilistiche. Allora, nel 1943, George James di Glendale, California, fondò la Società Missilistica della California Meridionale, denominata più tardi Società di Ricerche sulla Reazione. Quasi nello stesso tempo fu organizzata la Società Razzi di Chicago; entrambe le associazioni divennero molto attive e da allora l'interesse per la missilistica è andato sempre aumentando.

La Reaction Research Society organizzò un certo numero di validi servizi postali a mezzo di razzi, nell'intento di mettere in evidenza l'impiego pacifico della nuova tecnica. La mancanza di spazio sufficiente per le prove impedì al gruppo di Chicago d'intraprendere esperimenti analoghi. Nondimeno, dal suo programma di lavori teorici, è scaturita una rilevante quantità di idee e di utili elementi.

Fra gruppi di una certa importanza formatisi sin dal 1943, vi sono la Pacific Rocket Society, la Philadelphia Astronautical Society, la MIT Rocket Research Society, la Intermountain Rocket Society, la Boise Rocket Research Society, la Society for the Advancement of Space Travel e la Reaction Missile Research Society Inc. Sono affiliate dall'American Astronautical Federation, costituita come organizzazione nazionale per raccogliere e distribuire informazioni e promuovere il volo spaziale.

La missilistica dilettantistica presenta svariate attrattive oltre allo spettacolare ma breve volo del razzo. Il progetto e la costruzione del missile, l'apparecchiatura di lancio e la strumentazione,

pongono molti difficili problemi. Il razzo deve essere aerodinamicamente stabile sia durante, come dopo la combustione; questo problema di stabilità può essere affrontato in molti modi e dà luogo a interminabili progetti e prove.

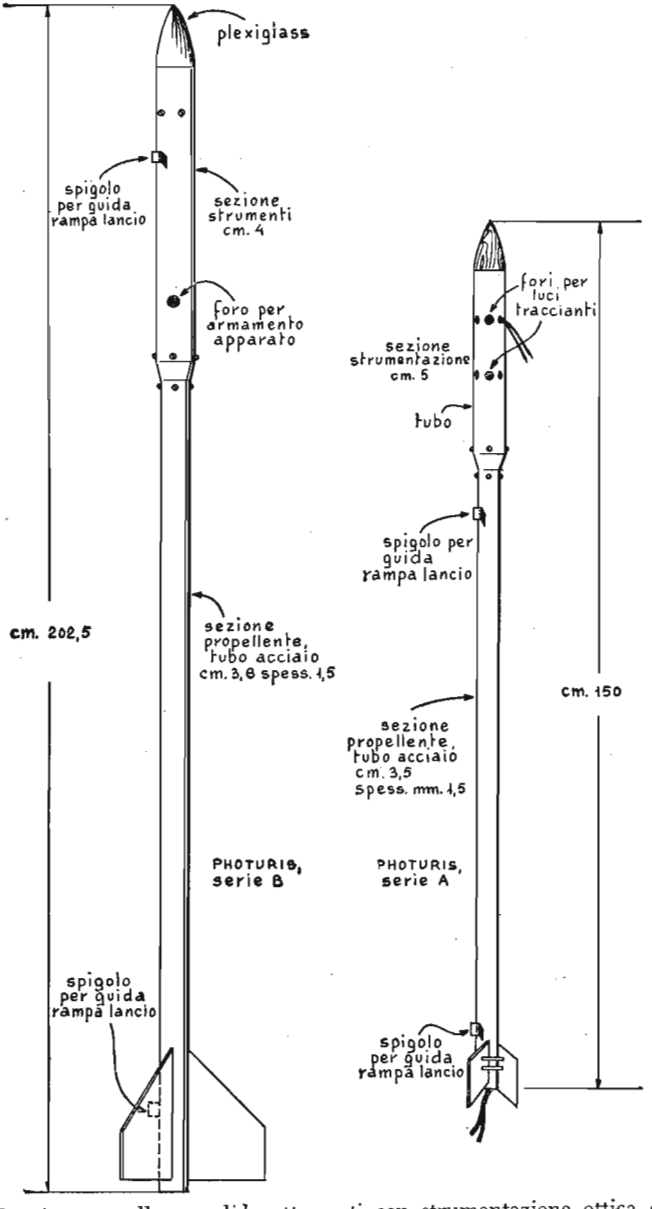
Il progetto di piccoli motori e di propellenti speciali può richiedere raffinate conoscenze di matematica, fisica e chimica. A causa dello spazio limitato, la strumentazione dei piccoli razzi richiede molta ingegnosità: essa dovrebbe attirare i radioamatori, specialmente quelli interessati alla miniaturizzazione. Allo stesso modo i dilettanti fotografi sono sempre i benvenuti nelle associazioni missilistiche: è necessario fotografare le partenze, le traiettorie, le registrazioni strumentali e le apparecchiature prima e dopo il lancio.

Essere membro di una squadra che coordina tanti campi di interesse nel condurre a compimento un programma sino al momento culminante del lancio di un razzo con strumenti a bordo, dà un senso di orgoglio nel successo che pochi altri eguagliano.

I membri delle associazioni dilettantistiche in missilistica non si illudono che si arrivi al volo spaziale con i loro sforzi. Essi non hanno né i fondi né le possibilità di procurarsi i materiali necessari. Ma possono acquistare conoscenze dirette nei riguardi della natura dei problemi che sono ora in attesa di soluzione. Scambiando informazioni e conducendo determinati tipi di esperimenti, i principianti possono imparare le notizie fondamentali del volo dei razzi.

Istruzioni di Barret e Grenger

Un progetto relativamente semplice intrapreso dalla nostra Reaction Missile Research Society illustra un tipo di lavoro sperimentale adatto ai principianti e mette in evidenza alcune delle preoccupazioni che il missilista dilettante apprende a superare e a gustare. Questo progetto è stato ideato da Walter La Fleur, mentre questi seguiva gli studi per la laurea in matematica all'Università di Agricoltura e Scienze Meccaniche del New Mexico. Lo scopo del progetto era quello di registrare dati sulla traiettoria di un razzo mediante una sorgente luminosa portata dal missile stesso. Per inciso, i dilettanti amano dare il nome ai loro razzi:



203. Razzi a propellente solido attrezzati con strumentazione ottica ed elettronica.

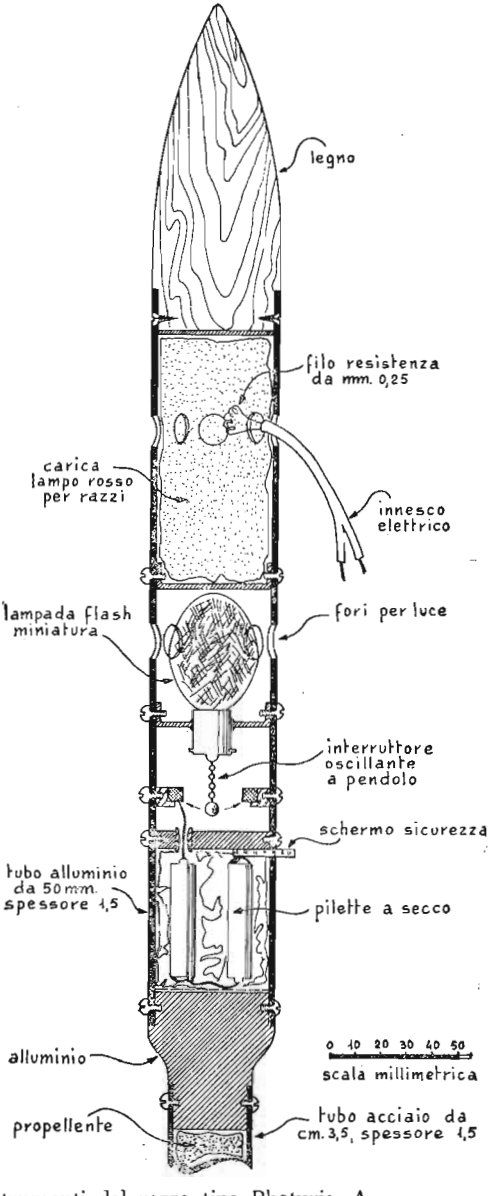
quello di La Fleur doveva trasportare una luce intermittente, perciò fu proposto il nome di « lucciola ». Essendo avvenuto che un altro gruppo avesse usato lo stesso nome, il nostro fu cambiato in « Photuris », che è il termine classico per lucciola. La serie « A » dei nostri modelli si riferiva ad un programma in economia, del costo di 9 dollari per ogni missile. La serie « B » prevedeva una strumentazione elettronica e venne a costare 50 dollari per razzo. Per registrare i dati relativi al volo nelle migliori condizioni fotografiche possibili, tutti i lanci furono fatti in notti senza luna.

Il Photuris A consisteva sostanzialmente di un tubo d'acciaio a pareti sottili del diametro interno di 30 millimetri cui era unito mediante un riduttore, un pezzo di tubo in alluminio da 50 millimetri. La sezione in acciaio conteneva il propellente ed era dotato di un ugello convergente-divergente e di alette, come in fig. 203. Il tubo d'alluminio conteneva la strumentazione del razzo ed era chiuso alla sommità da un cono terminale di legno.

Un alloggiamento alla sommità della sezione strumentale era carico di polvere da fuochi artificiali, che bruciava con una luce rossa brillante. La polvere veniva accesa elettricamente, facendo passare una corrente molto intensa in un sottile filo (di nichelcromo) immerso in essa.

Lo scompartimento inferiore della sezione strumentale era munito di una lampada miniatura per fotoflash, un interruttore a pendolo ed un alimentatore a pile. Quel tipo di interruttore era in corso di prova come possibile dispositivo di comando dell'apertura di un paracadute sui successivi tipi di missile ed era progettato perché si chiudesse quando il missile si capovolgeva al culmine della traiettoria. La registrazione della luce della lampadina per fotoflash avrebbe dovuto provare la bontà o meno dell'idea.

Sia sul razzo tipo « A » che su quello tipo « B » era impiegata come propellente polvere di zinco mescolata con polvere di zolfo. Inizialmente formammo una miscela ben omogenizzata con l'85 % di zinco ed il 15 % di zolfo (in peso). Poi si misero in pratica due sistemi di caricamento del propellente: nel primo, versammo la polvere nell'ugello del tubo di acciaio in piccole quantità o, pressando leggermente ogni dose aggiunta mediante piccoli colpi al razzo.



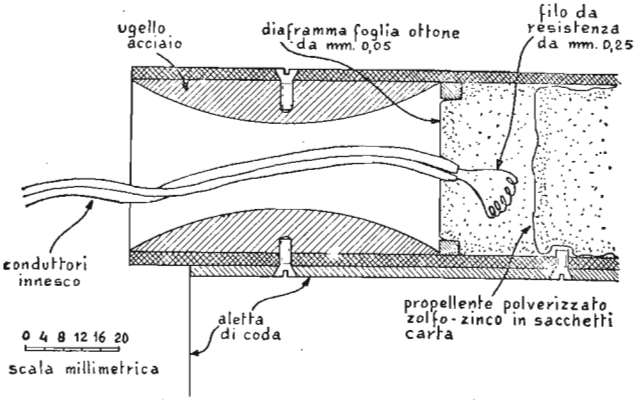
204. Sezione strumenti del razzo tipo Photuris - A.

Nel secondo metodo, più efficace ma meno conveniente, la polvere era impacchettata in piccoli cilindretti di cartoncino sottile, chiusi alle estremità con carta morbida. Queste cartucce, ognuna contenente la stessa quantità in peso di polvere, erano caricate nella camera di combustione a stretto contatto l'una con l'altra. Questo secondo metodo ha il vantaggio che ogni razzo così caricato ha quasi esattamente la stessa spinta; ha però lo svantaggio che l'ugello deve esser tolto durante il caricamento. Con entrambi i metodi di caricamento la polvere è innescata da un accenditore elettrico immerso nella dose di polvere inserita per ultima.

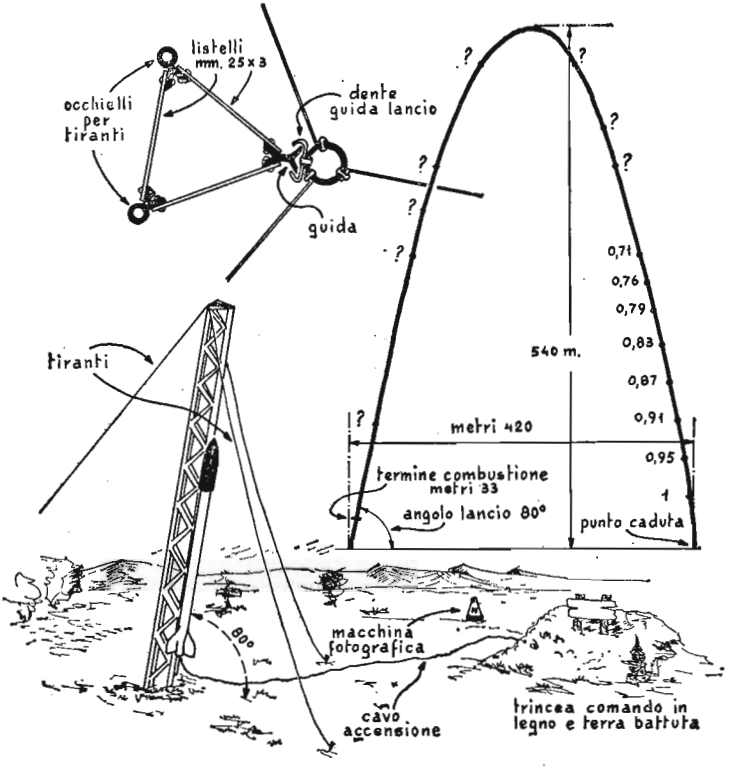
Sia i razzi « A » che i « B » vennero lanciati da una torre fatta di sezioni di angolare e di striscia di ferro. Dei morsetti attaccati in cima e in coda al missile scorrevano su una rotaia di lancio saldata su uno spigolo della torre. Le partenze dei razzi venivano telecomandate da un rifugio-osservatorio, distante 50 metri circa dalla torre.

Il rifugio, fig. 206, era costruito con grosse travi di legno e coperto da uno spessore di terra di qualche metro; feritoie d'osservazione erano aperte nella parete rivolta alla torre. Tutti i lanci vennero effettuati in una zona campestre di montagna.

Nessuno dei razzi funzionò in maniera perfetta da tutti i punti di vista; alcuni fallirono completamente. Questa è la si-



205. Dettagli dell'ugello del razzo.



206. Torre di lancio e traiettoria del razzo Photuris - B.

tuazione usuale nella missilistica per dilettanti. Nel Photuris 1-A il motore non funzionò perfettamente; al « via » il propellente si accese e bruciò per 10 secondi. Il razzo lasciò la torre lentamente, salì a circa 10 metri, si capovolse e cadde nel terreno col motore ancora acceso.

Il successivo esame mostrò che si erano creati due punti di accensione nella camera di combustione e che un mezzo chilo circa di polvere non si era acceso. Le spiegazioni proposte per questo irregolare funzionamento portavano a pensare:

1) che il propellente non era stato compresso correttamente;

2) che durante il trasporto al posto di prova, il propellente

si fosse spostato creando dei vuoti lungo le pareti della camera e provocando perciò una combustione irregolare;

3) che i costituenti il propellente non erano stati miscelati nella proporzione giusta;

4) che il diaframma di chiusura non era stato abbastanza resistente. Il diaframma chiude per i primi istanti la camera di combustione per permettere il formarsi di una pressione nel suo interno e determina perciò la velocità di combustione. Se si rompe troppo presto, la velocità di combustione è bassa all'inizio e il razzo non parte rapidamente dalla rampa. Siccome le alette di coda non possono stabilizzare efficacemente il razzo a bassa velocità, il razzo è aerodinamicamente instabile nella prima parte del volo.

Il mattino successivo furono effettuate due prove statiche che provarono come il difetto fosse effettivamente nel diaframma. Un diaframma sottile usato nella prima prova statica dette un risultato identico a quello della sera precedente: combustione lenta e rimanenza di propellente incombusto. Un diaframma più spesso usato nella seconda prova statica dette una combustione perfetta. Gli sperimentatori possono iniziare con un diaframma in ottone, spesso 0,05 millimetri.

Non solo il motore ma anche la sezione strumentale del Photuris 1-A funzionò male. La luce di segnalazione non si accese, l'estremità inferiore del cono terminale in legno bruciò (sebbene si ritenesse protetta da uno strato isolante di amianto) e i fori di sfogo creati per la luce risultarono troppo piccoli. A quanto sembra, l'interruttore a pendolò funzionò. Due osservatori riferirono di aver visto un lampo quando il missile si capovolse al vertice della traiettoria.

In seguito a queste prove il Photuris 2-A fu fornito di un diaframma di tenuta più resistente. Fu installato un sistema relais a bassa corrente per migliorare l'accensione della sorgente luminosa.

Nella sezione illuminante furono creati fori di sfogo più grandi e sia l'estremità superiore che quella inferiore di questo scompartimento fu resa infiammabile con uno spesso strato di stucco.

Il tempo necessario per realizzare queste modifiche, altre attività dell'Associazione e le avverse condizioni meteorologiche ri-

tardarono di circa due mesi la prova successiva. Finalmente venne la grande serata e potemmo manovrare l'interruttore. Il motore si rifiutò di avviarsi. L'esame rivelò che il propellente a contatto con il filamento d'accensione si era fuso in forma di palline dure. La camera di combustione fu vuotata, riempita nuovamente e venne sistemato un nuovo elemento accenditore.

Alla seconda accensione il diaframma si ruppe e lasciò uscire una corta lingua di fuoco, ma il missile non si mosse minimamente dalla rampa. Improvvisamente la parete della camera di combustione vicino all'ugello divenne incandescente e la zona rovente si spostò lentamente verso la testa del razzo. La successiva analisi chimica del residuo nella camera di combustione indicò un eccesso di zinco nel propellente. Allora cambiammo le proporzioni della miscela in 75 % di zinco e 25 % di zolfo (in peso).

Una settimana dopo il Photuris 3-A partì felicemente. La strumentazione era la stessa delle prove precedenti, ma non riuscimmo a raggiungere il nostro scopo. La luce si spense durante l'accelerazione, certamente perché la sua polvere non era stata ben miscelata. Il flash non funzionò quando il razzo si capovolse; un successivo controllo mostrò che le batterie che si supponevano cariche erano invece esaurite. Come contributo finale alla nostra delusione, il razzo perse le alette dopo tre quarti di secondo ad una quota di circa 25 metri!

La durata di combustione totale era stata di circa un secondo. Il corpo principale del missile ricadde in un punto verso nord, ad una distanza di 300 metri, invece che nella zona prevista ossia a 400 metri. La sezione divergente dell'ugello era fortemente corrosa.

Malgrado questi fallimenti il gruppo pensò di avere ormai una sufficiente esperienza in materia di propellenti a base di zolfo e zinco per tentare la costruzione di un missile più grande e con strumentazione più complessa. Di conseguenza si cominciò a lavorare sul primo dei missili Photuris B. La parte vettrice era fatta di tubo d'acciaio da 1,5 millimetri di spessore e di 142,5 centimetri di lunghezza, con un diametro interno di 35 millimetri. Era dotato di tre alette a forma di parallelogramma con un angolo di attacco di 60 gradi. Il razzo pesava 4,300 chilogrammi vuoto e 7,740 pieno con un rapporto di massa (vuoto/pieno) di 1:1,8. La miscela propellente era di 75 % di polvere di zinco e

25 % di zolfo. L'ugello era divergente-convergente a doppio cono di acciaio con apertura di 30 gradi.

La parte strumentale consisteva di una lampada intermittente allo xenon ad alta luminosità per stroboscopio, di un alimentatore e di un circuito elettronico temporizzatore, destinato ad eccitare la lampada alla cadenza di 5 lampi al secondo. Le fotografie dei lampi, che erano abbastanza brillanti da impressionare la pellicola ad una distanza di circa 1200 metri, avevano non solo lo scopo di fornire un diagramma della traiettoria ma di consentirci il calcolo della velocità, della durata totale della traiettoria, della sua accelerazione in qualsiasi punto della traiettoria e così via.

La realizzazione d'una sorgente di corrente continua a 300 V-0,008 A per la lampada, da contenersi nel piccolo spazio disponile, presenta notevoli difficoltà. Dato che non si potevano trovare batterie capaci di fornire la tensione e intensità volute, si decise di usare pile per lampade tascabili e di elevarne la tensione mediante un alimentatore a vibratore del tipo usato per le autoradio.

Una serie di prove fu effettuata dapprima per accertare se le pile potessero erogare abbastanza energia da alimentare la lampada ed i relativi circuiti per tutta la durata prevista del volo. Un gran numero di prove della durata di tre minuti, ad alta intensità di corrente, fu effettuato su quattro marche di batterie disponibili nei negozi locali. In queste prove imparammo che sebbene le piccole pile usate nelle torcette tascabili siano 1/20 in volume di quelle usate nelle torce grandi, esse possono fornire quasi la metà di energia.

Un altro fatto interessante venne alla luce: gli elementi meno buoni mostrano sempre una caratteristica caduta di tensione durante i primi 10 secondi dal momento dell'applicazione di un forte carico. A seguito di ciò stabilimmo una procedura standard di collaudo secondo la quale tutti gli elementi da usarsi nel missile dovevano mantenere la tensione nei limiti prescritti durante il periodo di prova di 10 secondi. La batteria finale completa consisteva in un certo numero di elementi (del tipo 912) collegati in serie parallela (che davano 105 volt ed occupavano circa 44 millimetri di altezza della sezione strumentale).

Il circuito temporizzatore consisteva di una resistenza da 2,2 megaohm attraverso la quale, un condensatore da 0,1 microfarad, veniva alternativamente caricato dall'alimentazione e scaricato su

di un diodo a gas NE 48. Dato che la tensione di alimentazione tendeva a variare oltre i limiti di tolleranza, venne aggiunto un circuito regolatore di tensione, costituito da due diodi a gas NE 48 in serie con una resistenza da 470.000 ohm (v. schema circuitale, fig. 207). Il circuito funzionò bene e continuò a funzionare anche quando la tensione scese sotto al valore al quale era ancora possibile l'accensione della lampadina.

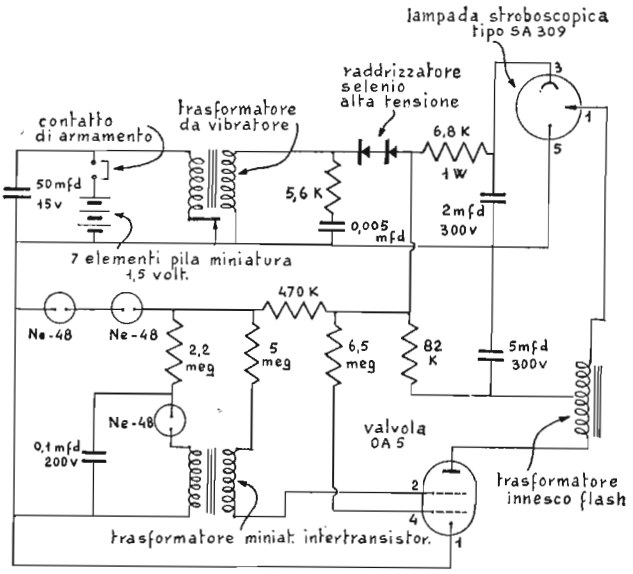
Il problema di innescare la lampada ad intermittenza fu difficile inizialmente ma fu risolto alla fine usando un tubo di innesco del tipo OA che comandava un trasformatore di innesco per fotoflash. A sua volta il tubo era innescato dal circuito a tempo tramite un trasformatore del tipo microfonico.

Un blocco cavo di materiale plastico trasparente venne fuso e lavorato alle dimensioni adatte per servire sia da cono terminale del missile che da contenitore della lampadina ad intermittenza, sistemazione questa, che consentiva una completa visibilità della lampada stessa. I componenti circuitali erano montati in uno chassis cilindrico che si adattava esattamente nel cono terminale.

Il circuito veniva chiuso inserendo una piccola spina di corto circuito in uno sportellino della sezione strumentale, in modo da collegare il polo positivo della batteria al corpo del missile, che agiva da massa comune per le varie sezioni del circuito. Le prove al banco del circuito mostrarono che la lampadina avrebbe funzionato regolarmente per tre minuti.

Il dispositivo si comportò come al solito, cioè si rifiutò di funzionare, una volta montato nel missile. Le difficoltà sorsero nel gruppo vibratore dell'unità di alimentazione. Le lamine vibranti erano montate sul fianco del trasformatore connesso al corpo del missile. Le sollecitazioni meccaniche generate avvitando strettamente il trasformatore al suo posto, disturbavano la regolazione dei contatti ed il funzionamento delle lamine. Sembrava perciò necessario regolare nuovamente i contatti dopo il montaggio del missile. Non essendosi previsto questo problema, nel progetto del missile, non si era tenuto conto della necessità di accedere alle lamine. Correggere questa deficienza avrebbe richiesto il rifacimento del missile, perciò si decise di fare una regolazione approssimativa e procedere al lancio.

Il razzo fu lanciato con lo stesso angolo della serie del Photuris A: 88 gradi sull'orizzonte. Raggiunse una quota di 550 metri



207. Circuito elettrico della strumentazione elettronica installata su razzo Photuris - B.

e ricadde precisamente nel punto previsto a 400 metri di distanza. Il motore funzionò perfettamente (v. foto in fig. 208).

La traiettoria venne fotografata da una distanza di circa 500 metri con una speciale macchina posta sulla normale del piano della traiettoria. Siccome il missile uscì dal campo della macchina, la registrazione della parte superiore della traiettoria fu perduta, ma venne extrapolata dalla sezione fotografata, come mostrato in fig. 206.

La lampada intermittente non funzionò durante la prima parte della traiettoria, indubbiamente per l'effetto dell'accelerazione nel gruppo vibratore, ma funzionò bene nella seconda parte. Le foto non furono all'altezza dell'aspettativa: le immagini dei lampi sulla lastra, benché ben definite, una volta individuate, erano piccolissime e difficili da seguire.

La sezione strumentale venne così completamente distrutta dall'urto sul terreno, che non se ne poté recuperare neppure

208. Partenza di un razzo Photuris - B.

un solo componente. Perciò il gruppo decise, per economia, di rinviare gli ulteriori lanci in attesa di sviluppare un sistema adeguato di paracadute. Nel frattempo veniva proposta l'idea di installare una sorgente luminosa continua e segnalare i tempi sistemando un otturatore rotante davanti alla camera da presa.

Altri progetti più progrediti attualmente in corso comprendono lo sviluppo di un missile senza ugello né alette, con alto rapporto di massa, un dispositivo misuratore delle distanze mediante radio a onde corte e un sistema registratore di dati. I rapporti di massa dei razzi convenzionali raramente superano 3 ad 1.

Il missile in progetto dovrebbe avere un rapporto di massa di 9 ad 1. Un piccolo cono sulla coda del razzo sostituirà le usuali alette. I risultati delle prove in tunnel a vento sui prototipi indicano che un cono dovrebbe dare una stabilità migliore delle alette.

Un certo numero di associazioni fanno ricerche sui propel-

lenti sia solidi che liquidi; il nostro gruppo, invece, preferisce concentrarsi sulla strumentazione. I carburanti liquidi sono invitanti e danno risultati spettacolari, ma costano. Alcuni, come il perossido di idrogeno e l'acido nitrico fumante, possono sfuggire al controllo. I dilettanti non ancora esperti di razzi troveranno sufficienti emozioni nella miscela zolfo-zinco.

Al contrario della polvere nera e di altri propellenti solidi, i combustibili allo zolfo-zinco possono essere usati con una certa tranquillità anche per i razzi più grossi. La sua velocità di combustione è elevata, dell'ordine di 1,5 metri al secondo, per qualsiasi diametro del tubo contenitore. La sua densità è pure elevata, tuttavia il pericolo di esplosioni per la pressione è minimo.

Attenzione:

Anche questa miscela, come tutti i propellenti per razzi, è potenzialmente pericolosa e dev'essere usata con estrema cautela. *Non permettere fuochi in qualsiasi forma – neppure una sigaretta accesa – nella zona di caricamento o di lancio.* Durante il conteggio alla rovescia e durante il lancio, tutti devono ripararsi in un rifugio solido o allontanarsi dalla zona di lancio e da quella di caduta.

Coloro che sentano lo stimolo a prendere come hobby la missilistica, sarà bene che si uniscano con altri della loro cerchia con analoga tendenza oppure divengano soci di un gruppo già costituito.

Pochi hanno da soli tempo ed abilità necessari per il progetto e costruzione di un razzo riuscito e ben dotato di strumentazione e nessuno può essere onnipresente per riuscire a lanciare un razzo ed osservarne al tempo stesso, adeguatamente, le prestazioni. Anche se vi si riuscisse, si perderebbero le ricche soddisfazioni che possono derivare soltanto da un lavoro di gruppo.

IX.

OTTICA, CALORE ED ELETTRONICA

1. *Microscopia dilettantistica*
2. *Costruzione di alcuni generatori elettrostatici*
3. *Apparecchiatura economica per la produzione di raggi X*
4. *Tubo a vortice di «Hilsch»*
5. *Un interferometro autocostruito*
6. *Costruzione di un orologio piezoelettrico*
7. *Qualche esperimento per un pomeriggio di festa*

1

MICROSCOPIA DILETTANTISTICA

Molte sono le occasioni e le avventure che attendono il dilettante in questa attività. Note sulla costruzione di un microscopio partendo da una bacchetta di vetro. Tipico progetto di lavori di microscopia. Microfotografia.

L'assenza di lungimiranza di Adamo, quando egli dette il nome alle creature della terra (*Genesi*, 2, 19), rese certamente più difficili le cose per i suoi studiosi discendenti. Se gli avesse fatto una lista degli animali via via che dava loro un nome, sarebbe oggi assai più semplice l'impresa di applicare un'etichetta di identificazione su un vetrino da microscopio. A seguito di come sono andate le cose, la riscoperta e l'imposizione di un nuovo nome agli organismi del mondo è stata un lavoro lento e penoso. Aristotele conosceva circa 520 animali e Teofrasto poteva identificare un numero pressoché uguale di piante.

Oggi, in buona parte per merito di Linneo e della scoperta del microscopio, il catalogo a nostra disposizione si è ampliato sino a circa un milione di specie di animali ed a 336.000 specie di piante. Il censimento delle forme di vita esistenti sulla terra è, comunque, tutt'altro che completo: nessuno sa quante migliaia di specie viventi rimangono ancora da scoprire e da identificare.

L'impresa di completare la panoramica degli organismi e la denominazione di questi rappresenta una delle più promettenti avventure della scienza: essa, poi, offre anche ai dilettanti scienziati una prospettiva che non è seconda a nessun'altra. Per avviare tale attività può essere sufficiente l'acquisto di un microscopio, dato che ormai la maggior parte degli esseri viventi su cui l'indagine non è stata portata a termine è quella del mondo dei piccoli organismi.

La microscopia dilettantistica ha anche altre attrattive oltre a quella della scoperta effettiva di nuovi organismi. Secondo

quanto afferma Harry Ross di New York, un dilettante che fu così affascinato dal microscopio al punto da abbandonare una promettente carriera nel campo dell'ingegneria elettrotecnica per avviare un'iniziativa commerciale nelle forniture di ottica: « il microscopio e le sue applicazioni attraversano il campo di quasi tutte le scienze, ciascuna delle quali può divenire una vera e propria vocazione od hobby ».

Ross afferma che è possibile realizzare un microscopio funzionante, con un'attrezzatura casalinga, in meno di un'ora e che d'altra parte non occorre davvero cercare molto lontano per approvvigionarsi dei materiali di studio.

« La saliva della bocca », egli continua, « può fornire un numero adeguato di specimen diversi da tenere impegnato l'osservatore per mesi interi. Sembra quasi che più sono gli organismi che scopriamo ed identifichiamo, più sono quelli che attendono ancora di essere scoperti ed identificati ».

Nella microscopia, il problema non è tanto quello di trovare oggetti di studio ma, piuttosto, quello di indurre la propria volontà a fermarsi su di una ricerca ben definita. Siamo infatti costantemente tentati di affrontare l'esplorazione in ogni campo aperto dello strumento. Supponiamo, per esempio, che qualcuno versi del sale e che i cristalli di questo attraggano la nostra attenzione: immediatamente si viene tentati di pensare alla cristallografia.

Nella zona che possiamo coprire allungando un braccio, possiamo reperire del materiale sufficiente a mantenerci occupati per ore, al microscopio, come nell'osservazione della forma cubica del sale, o della struttura scintillante dello zucchero; una particella di polvere prelevata dal bordo di una scarpa fornisce un'adeguata collezione di cristalli minerali quali il quarzo, la mica, la silice, la calcite. Se si stacca una scheggia di ghiaccio dal cubetto che abbiamo nel bicchiere di bibita e lo si pone rapidamente su di un vetrino per l'osservazione microscopica, si possono vedere dei cristalli aghiformi di ghiaccio, che divengono presto sfere scintillanti per la fusione. È poi possibile esaminare l'acqua che rimane da questa liquefazione per accertarne la purezza, cercando se per caso contenga frammenti o corpuscoli di materie in sospensione, forse addirittura esemplari di esseri viventi in uno stato di letargo.

Si esamini qualche granello di pepe macinato per vedere se per caso sia stato sofisticato con l'aggiunta di amido: se tale sofisticazione è stata commessa, sarà facile rilevarla ove si notino dei granelli ovali abbastanza regolari di colore chiaro, segno questo della presenza appunto della sostanza amidacea.

Qualora si sia interessati alle sostanze grasse, vale la pena indagare nelle differenze di aspetto presentate da una traccia di burro e da un pezzetto di grasso prelevato da qualsiasi carne. Dopo i grassi qualche altra cosa attrae l'attenzione: così entro alcuni minuti può ricomparire l'attrazione verso le osservazioni sui cristalli.

Gli storici non sono certi in merito a colui che sia stato l'inventore del microscopio; come molti prodotti della tecnologia, anche questo strumento sembra derivare dall'evoluzione di una serie di cognizioni frammentarie accumulate, intrecciate ed affondate nel tempo come le radici di qualche albero secolare. La più antica lente di ingrandimento fu scoperta tra le rovine di Ninive dall'archeologo britannico Sir Austen Layard.

Si trattava di una lente pianoconvessa lavorata in maniera grossolana e costituita di cristallo di rocca che, nonostante la sua mediocre lavorazione, ingrandiva abbastanza bene le immagini. Plinio il Vecchio, nel 100 avanti Cristo, citava la capacità di accendere il fuoco presentata dalle lenti fatte di vetro; la scienza dell'ottica, nel suo comune senso attuale, non ebbe però inizio sino al 13° secolo.

Ruggero Bacone sembra sia stato il primo a suggerirne i principi. Nei suoi scritti prevedeva la realizzazione del microscopio e del telescopio ed egli probabilmente condivide il merito della invenzione del microscopio. Bacone insegnò la teoria delle lenti ad un amico, Heinrich Goethals, che aveva visitato Firenze nel 1285.

Da Goethals le notizie passarono ad un frate domenicano, Spina e da questi a Salvino D'Amato. La tomba di D'Amato, nella chiesa di S. Maria Maggiore in Firenze, porta l'epigrafe: « Qui giace Salvino D'Amato della Famiglia Amati, di Firenze, inventore degli occhiali. Dio, perdonagli i suoi peccati. A. D. 1317 ».

Il semplice microscopio, ossia una lente semplice, deve essere stata usata nella stessa epoca nella quale vennero inven-

tati gli occhiali, o forse deve avere addirittura preceduto tale realizzazione. Non sappiamo chi fu il primo ad averla usata; sappiamo comunque che il primo a fare delle importanti scoperte con tale strumento, fu l'olandese Anton Van Leeuwenhoek, nato nel 1632. Dopo avere esaminati diversi materiali comuni, attraverso un semplice strumento ad una sola lente scrisse, alquanto turbato, alla Royal Society di Londra in merito agli oggetti all'apparenza incredibili che lo strumento gli aveva rivelati.

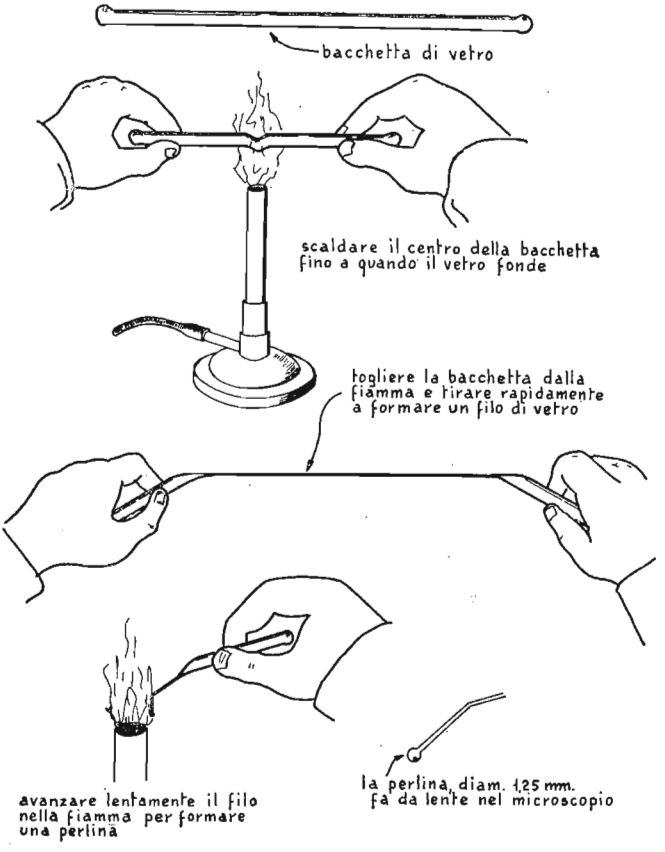
Egli riferì di avere scoperto dei vermi ed altri piccoli esseri che si contorcevano, nell'acqua prelevata dal canale della sua nativa Delft come anche tra la materia che si accumulava tra gli interstizi dei suoi denti. Forse il suo massimo contributo, fu quello dell'osservazione da lui fatta sui corpuscoli rossi del sangue. Non solo Leeuwenhoek identificò i globuli rossi, ma riuscì anche a tracciare dei disegni del loro aspetto, e inviò tali disegni, assieme alle misurazioni delle loro dimensioni approssimate, alla Royal Society.

Microscopio « Leeuwenhoek » realizzato partendo da una bacchetta di vetro

Chiunque abbia un poco di tempo libero, può tentare la costruzione di una copia del microscopio di Leeuwenhoek e godere di una sensazione provata per la prima volta da un uomo di ben trecento anni addietro. Tale strumento è facile da realizzare ed offre al principiante anche un ricco campo di esperienze, nella preparazione e nella manipolazione degli specimen.

Come materiale occorre solamente un corto pezzetto di bacchetta di vetro, un pezzo di lastrina di ferro od ottone dello spessore di 0,8 millimetri e nelle dimensioni di 50 $\times$ 75 millimetri, due buloncini con dado, un tubetto di adesivo universale a rapida essiccazione ed un pezzetto di cellophane.

Per bacchetta di vetro può andare ottimamente una di quelle usate per mescolare i coktails. Per prima cosa si tratta di tenere la zona centrale della bacchetta nella fiamma di un bruciatore Bunsen o quella di un piccolo fornello della cucina a gas. La bacchetta viene introdotta lentamente nella fiamma allo scopo di evitare il formarsi, nell'interno della massa di vetro, di ten-



209. Come si realizza la lente a perlina di vetro per un microscopio Leeuwenhoek.

sioni tali da compromettere la resistenza del vetro stesso. Il centro della barra sarà portato rapidamente al calore rosso ed, a questa temperatura, diverrà plastico.

Si estrae allora la bacchetta dalla fiamma con molta rapidità e la si distende: la zona centrale divenuta plastica cederà allungandosi e dando luogo ad un filamento della grossezza di un capello, lungo circa 60 centimetri. Una volta che tutto il vetro si sarà raffreddato, si tratta di ricavare un pezzo, di lunghezza

conveniente, ad esempio di 15 centimetri, della porzione centrale trasformata in un filo.

Quindi si porta lentamente nella fiamma una estremità di tale tratto: ben presto, la punta raggiungerà l'incandescenza e su essa si formerà una sferetta abbastanza regolare di vetro fuso. Constatato questo, si continua a fare avanzare il filamento in direzione della fiamma, sino a quando la sferetta non avrà raggiunto il diametro approssimato di 1,5 millimetri, v. fig. 209.

La lente di questo microscopio si può considerare, a questo punto, ultimata; se questa sferetta sarà stata lavorata con cura, potrà già offrire un ingrandimento di circa 160 diametri. La potenza di una tale lente equivale al numero 10, diviso per il diametro della sferetta in frazioni di pollice.

La qualità della lente realizzata con questo metodo primitivo è tutt'altro che eccellente, per la poca uniformità da questa presentata; comunque sarà sempre utile tentare la preparazione di un certo numero di queste sferette in modo da potere poi scegliere quella che sembrerà la migliore.

Un piccolo tratto del filamento di vetro può risultare ancora collegato alla sferetta e può venire così usato come punto di attacco per montare la lente sulla sua base. Leeuwenhoek aveva montato la sua lente in mezzo ad una coppia di lastrine di ottone sulle quali era stato eseguito un foro piccolissimo per accogliere la sferetta stessa e consentire il passaggio dei raggi.

Ho potuto però constatare che risulta più conveniente aprire un foro in una sola lastrina e quindi fissare, dinanzi a questo, la sferetta di vetro, con il suo stelo. Occorre dire che il foro deve essere regolare e che deve avere un diametro appena inferiore di quello della sferetta, onde evitare che parte dei raggi luminosi possa sfuggire attorno alla sferetta stessa, in quanto questo ridurrebbe il contrasto dell'immagine osservata. La sferetta viene ancorata per il suo stelo, fissato sul bordo del foro, con una piccolissima goccia di adesivo a preda rapida.

La lunghezza focale di questa piccola lente è naturalmente piccolissima, ciò significa che il piano dove lo specimen va installato al disotto di essa deve risultare assai vicino alla lente, giungendo talvolta quasi a toccarla. Per mettere a fuoco il microscopio e spostare il campione da osservare sotto il suo campo di osservazione, Leeuwenhoek usava una serie di viti di sposta-

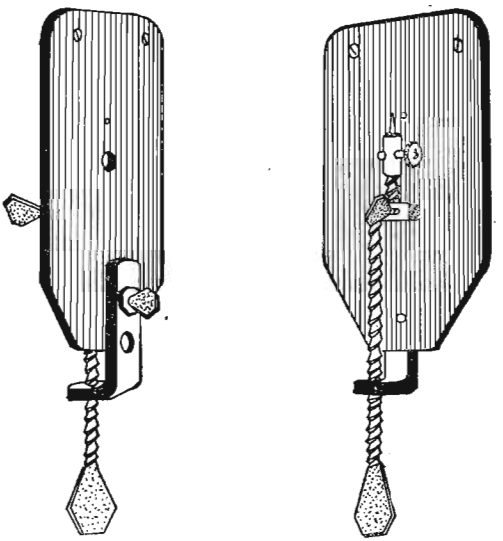
mento ad azione intercollegata che manovravano una punta metallica che serviva da centro di osservazione, fig. 210.

Nella versione dello strumento da me realizzato, ho sostituito alla punta un pezzetto di cellophane, fissato al meccanismo di spostamento per mezzo di un poco di adesivo. I campioni da osservare sono incollati sul cellophane.

Sfortunatamente lo strumento di Leeuwenhoek manca della comodità di osservazione offerta invece dagli strumenti moderni. Per vedere gli oggetti ingranditi si tratta infatti di portare l'apparecchio assai vicino all'occhio.

Roger Hayward aveva disegnato un modello maggiore nel quale viene usato un vetrino convenzionale, come supporto per l'oggetto da osservare; uno specchio viene impiegato per controllare l'illuminazione e sono presenti dispositivi più comodi di regolazione per la messa a fuoco. Questa disposizione migliora le caratteristiche dello strumento ma non elimina la necessità che questo sia portato molto vicino all'occhio dell'osservatore, fig. 211.

Se si considera il disegno originario, si può notare come il microscopio di Leeuwenhoek riveli un sorprendente quantita-



210. Versione classica del microscopio di Leeuwenhoek.

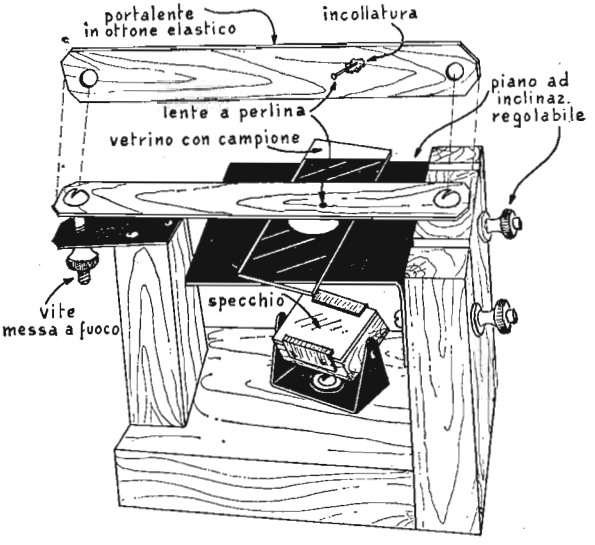
tivo di dettagli. Si suppone che Leeuwenhoek avesse lavorato con successo con sferette di vetro di piccole dimensioni, in quanto erano queste che offrivano il maggiore ingrandimento generale; egli comunque apprese ben presto a valutare il potere risolutivo in relazione alla potenza di ingrandimento e ad operare con la minima potenza possibile: una immagine di grandi dimensioni ma indistinta non aveva infatti alcun vantaggio rispetto ad una immagine più piccola altrettanto confusa.

Leeuwenhoek, comunque, aveva appreso almeno una lezione fondamentale: quella relativa alla importanza di una preparazione accurata degli oggetti destinati ad una osservazione microscopica. Come il matematico Robert Smith, del XVIII secolo, scrisse nel suo *Sistema completo di Ottica*: « Non dovremmo dimenticare quella parte di abilità nella quale egli (ossia Leeuwenhoek) eccelleva in modo così particolare, quella cioè della preparazione degli oggetti, nella migliore maniera, per la loro osservazione al microscopio. Di questo sono certo: chiunque si applicherà all'esame di alcuni degli stessi oggetti, rimanendo di fronte a questi vetrini, avrà grandi soddisfazioni ».

Dall'epoca di Smith, le generazioni di preparatori di vetrini hanno sviluppato, per la preparazione dei campioni, delle tecniche che hanno quasi lo stesso fascino delle operazioni condotte al microscopio vero e proprio. Taluni esemplari di maggiori dimensioni, quale la radice secca di un capello od un insetto disseccato, richiedono una lavorazione preparatoria maggiore di quella del loro semplice montaggio sul vetrino con una piccola goccia di Balsamo del Canadà o con qualche altro adesivo per vetrini, e della loro copertura con un altro vetrino.

Piccoli oggetti, quali i globuli rossi del sangue, possono essere osservati in modo soddisfacente quando vengono semplicemente distesi in strato sottile su di un vetrino su cui un altro vetrino viene applicato in funzione di copertura. Altri campioni sono però grossi ed opachi ed altri ancora, che sono trasparenti o che contengono dell'acqua, richiedono degli speciali trattamenti.

Se interessa studiare l'interno di uno specimen, una delle sue estremità deve ovviamente essere tagliata via o, se il soggetto stesso è traslucido, deve essere illuminato dal disotto. Alcuni campioni debbono essere tagliati in fette estremamente sot-



11. Microscopio di Leeuwenhoek adattato per osservazione dei moderni etrini.

li: vi sono macchine per questa funzione, chiamate microtomi, he sono adatte per il taglio di tessuti resi rigidi mediante conelazione oppure mediante inglobamento di un blocchetto di araffina fusibile a media temperatura. Il taglio in fette sottilisme, oltre a semplificare i problemi di illuminazione, semplifica nche l'immagine in quanto questa viene ingrandita in tutte le imensioni.

D'altra parte, la speciale macchina per il taglio non è afatto indispensabile: la lama di un rasoio di sicurezza sarà adeuata per il taglio di molti campioni. Lo spessore in cui il camione va tagliato deve essere il minimo possibile, meglio ancora e dell'ordine di una lunghezza di onda della luce usata per ilıminare lo specimen.

Quando un organismo è del tutto trasparente, può richiedere na colorazione per renderlo visibile, oppure può richiedere di ssere inserito in un ambiente trasparente con un determinato levato indice di rifrazione diverso dal suo.

Il processo di colorazione è un'arte di per se stessa, in quanto

la colorazione comporta sempre un'alterazione chimica nella sostanza che costituisce l'organismo stesso; taluni coloranti agiscono su di una sola parte di una cellula e non su tutta. Usando diverse sostanze chimiche, si può giungere a colorare in una tonalità il nucleo di una cellula e con un altro colore il citoplasma che circonda il nucleo stesso.

Molti batteri possono essere distinti uno dall'altro solo dalla maniera con la quale essi assorbono il colorante; questa è, per esempio, la base della classificazione dei batteri « gram positivi » e « gram negativi ».

La preparazione dei vetrini per osservazioni microscopiche ha una sua vasta letteratura con interi volumi dedicati a tecniche estremamente specializzate come quella della essiccazione, della pulitura, dell'imbiancamento per la eliminazione di pigmenti che oscurano la visuale, di metodi per fare galleggiare gli specimen in cellule liquide, per la scelta dei vetrini con caratteristiche ottiche che si combinino con quelle dello strumento; sulla lucidatura e la incisione delle superfici metalliche allo scopo di mettere in rilievo la loro struttura cristallina, processi questi quasi altrettanto numerosi e vari, come gli oggetti stessi che debbono andare sotto la lente dello strumento.

Come qualsiasi altra attività scientifica, anche quella della preparazione degli specimen per l'osservazione al microscopio è di quelle che invitano il dilettante a spingersi sino a qualsiasi stadio avanzato ed a trattenervisi a suo piacimento.

Coloro che avranno costruito uno strumento del tipo di quello di Leeuwenhoek potranno decidere di migliorare ulteriormente. Un semplice e convenzionale microscopio composto, anche di costo bassissimo, risparmia, a chi lo usi, molta fatica alla vista. Ovviamente coloro che ne avranno la possibilità faranno bene ad acquistarne un esemplare di buone caratteristiche, ossia di tipo tale che possa assicurare immagini nette e permetta l'osservazione dei più sottili particolari.

La sua potenza dovrebbe essere quella stessa che meglio si combina con l'abilità del dilettante nelle osservazioni. È comunque da notare che, durante le prime osservazioni, gli obbiettivi di grande potenza riescono solamente a sconcertare il principiante, in quanto esigono per il loro impiego una notevole pratica; l'ideale, ad ogni modo, in fatto di microscopi, è sem-

pre uno strumento che disponga di almeno tre obbiettivi intercambiabili ed almeno due oculari, ugualmente intercambiabili: dalla varia combinazione di queste ottiche, infatti, sarà possibile ottenere potenze totali di ingrandimento da poche diecine a mille ed eventualmente più diametri, così da usare caso per caso, il coefficiente di ingrandimento più adatto alle osservazioni da condurre ed alla esperienza che ciascuno già possiede nelle osservazioni precedenti.

Tipico progetto per un lavoro di microscopia ideale per i principianti. Il lavoro è descritto da Joseph F. Burke, membro della Microscopical Society di New York. Il progetto di osservazione è quello rappresentato dalle piante microscopiche chiamate diatomee

Le diatomee crescono dovunque vi sia luce ed umidità, il che significa che possono anche essere raccolte in qualsiasi parte del mondo: possono trovarsi sulla spiaggia, tra il plancton del mare, nella fanghiglia al fondo degli scavi, sugli steli delle piante acquatiche, tra le scorie degli specchi d'acqua stagnante, e perfino tra le sabbie del deserto in quanto le loro strutture scheletriche, a base di silice, rimangono come fossili una volta che gli esseri viventi che vi erano contenuti siano morti.

Una formazione di diatomee viventi appare di solito con una colorazione tendente al marrone, determinata da un pigmento che tende ad oscurare la clorofilla delle piante. Nei depositi di diatomee fossilizzate distese sul fondo dei mari della preistoria si scava come in una miniera, per la raccolta della cosidetta terra di diatomee, di notevole valore per la sua attività di blando abrasivo: perfino diversi prodotti commerciali per la lucidatura dei metalli e specialmente per quella dell'argento contengono, oltre ad altre sostanze, una notevole percentuale di diatomee fossilizzate, nella forma della cosidetta « farina fossile ». Ne deriva che anche questi prodotti lucidanti possono essere usati come fonte del materiale che interessa, ove questo non sia reperibile altrimenti.

Per la raccolta di esemplari viventi, il dilettante deve attrezzarsi con alcuni recipienti ad imboccatura larga, di un cucchiaio

e di un normale colino per thè o caffè, con rete molto sottile. Quando gli specimen sono raccolti durante le spedizioni di ricerca, è dovere del dilettante quello di annotare la data, il tempo, la località, assieme ad altri eventuali dati che possano aiutare nella successiva identificazione del materiale e nel successivo ritrovamento del punto dove esso sia stato per la prima volta, ove questo appaia di qualche interesse.

Per preparare le diatomee per la loro montatura al dilettante sarà necessario: dell'acido solforico per uso tecnico, dell'acido cloridrico ugualmente per uso tecnico, dell'acqua ossigenata, del bicromato di potassio polverizzato, dell'acqua distillata, qualche colino a rete molto fine, due contenitori di pyrex aventi ciascuno una capacità di 30 cubici, un piattello per dolci ugualmente di pyrex, un contenitore conico da 125 cubici, un certo assortimento di barattoli e bottiglie da mezzo litro e da un litro, delle bacchette di vetro per mescolare, oltre ad un certo numero di pipette pulite e disinfettate.

Il materiale raccolto deve essere trasferito dapprima in un vaso di notevoli dimensioni; ad esso va quindi aggiunta dell'acqua filtrata e, dopo che al recipiente sia stato applicato il coperchio, si provvede ad agitare energicamente il tutto; la stessa operazione può comunque anche essere condotta con il recipiente aperto, ossia mescolando il contenuto del vaso stesso con una bacchetta di vetro: in ogni caso, lo scopo di questa operazione è quello di determinare il distacco, dalle piante e da qualsiasi altro materiale solido, delle diatomee che vi aderiscono.

Si raccoglie quindi parte dell'acqua che deve contenere in sospensione notevoli quantità di questi piccolissimi esseri viventi e la si versa in un recipiente stretto e cilindrico, come una provetta a fondo piatto, la quale si lascia riposare per un tempo proporzionato all'altezza della colonna del liquido (in particolare il tempo deve essere di circa 25 minuti per ogni centimetro della colonna stessa). Le diatomee viventi debbono subire questi trattamenti in un ambiente oscuro, in quanto i processi metabolici che si verificano nell'interno di esse danno luogo alla emissione di piccole bolle di ossigeno e di altri gas che possono, aderendo al corpo dei microorganismi, determinarne l'alleggerimento, e quindi costringere questi ad elevarsi sino alla superficie del liquido.

Una volta che la sedimentazione abbia avuto luogo, si noterà la presenza delle diatomee al fondo del contenitore sotto forma di un sottile strato di colore bruno. A questo punto, l'acqua che si trova nel contenitore deve essere gettata via senza permettere agli specimen del fondo di perdersi: questo processo di « lavaggio » va fatto due o tre volte, specialmente quando si tratta di diatomee provenienti da acque salate. Occorre in ogni caso fare uso di acqua distillata o quanto meno di acqua fatta bollire a lungo, piuttosto che di comune acqua dell'impianto idrico casalingo, nella quale è infatti presente una notevole proporzione di sostanze calcaree e di prodotti clorati.

Parte del materiale rimasto al fondo della provetta dopo i lavaggi viene quindi trasferito al contenitore di pyrex, usando una pipetta, in modo da determinare nel fondo del contenitore stesso uno strato di spessore di 3 millimetri, dopo di che il contenitore viene introdotto nel piattello per dolci. Quindi l'eccesso di acqua contenuto nel recipiente si asporta via via con la pipetta sino a lasciare lo strato di microorganismi umido, ma non intriso di acqua.

A questo punto prende vita una violenta reazione chimica. strato un quantitativo di bicromato di potassio polverizzato, in misura pari ad un terzo di quello della sostanza stessa. Va quindi eseguita un'operazione che deve essere condotta all'aperto o su di una finestra dove sia presente una forte corrente diretta verso l'esterno, in quanto la reazione che si sta per determinare produce vapori e fumi sgradevoli: si tratta infatti di aggiungere gradatamente alla miscela già preparata di bicromato e di diatomee, un quantitativo di 5 cubici di acido solforico tecnico.

A questo punto, prende vita una violenta reazione chimica. Si tratta di rimuovere, con la bacchetta di vetro, le bolle di gas che si producono. La coppetta per dolci è stata prevista come precauzione dato che, quando questa reazione ha luogo, il forte calore che se ne svolge può determinare la rottura del primo contenitore; è quindi evidente che la presenza del secondo contenitore permette di raccogliere le diatomee che potrebbero altrimenti andare perdute e di impedire che la sostanza acida possa disperdersi attorno, causando danni alle cose od alle persone.

Il materiale viene a questo punto trasferito in un contenitore da un litro e quindi lavato per cinque volte con acqua distillata

lasciando quindi, ogni volta, riposare la miscela, permettendo quindi alla sostanza di depositarsi, per un tempo di circa 25 minuti per ogni centimetro lineare di altezza dell'acqua contenuta nel recipiente. Le diatomee sono quindi pronte per la loro selezione in funzione della loro grossezza, il che viene attuato con il ben noto processo di « elutriazione ».

Il materiale viene trasferito al primo di una serie di recipienti uguali di vetro, quindi ad esso si aggiunge dell'acqua e dopo un certo intervallo, diciamo di mezz'ora, l'acqua viene versata con cura nel secondo recipiente della serie. Più tardi, dopo un uguale intervallo di tempo, il contenuto del secondo recipiente viene versato nel terzo, e così via; in questo modo, al fondo di ciascuno dei contenitori, che possono benissimo essere bicchieri, si ha l'accumularsi del sedimento selezionato secondo la grossezza delle diatomee, dato che è evidente come quelle più grosse e quindi pesanti, tendano a depositarsi sul fondo prima di quelle più piccole.

Il deposito che si raccoglie in ciascuno dei bicchieri, viene quindi versato in altrettanti recipienti di conservazione in plastica, con tappo, da cui potrà essere prelevato per l'esecuzione delle osservazioni. In ognuno dei recipienti con tappo, conviene introdurre qualche goccia di acqua ossigenata forte, la quale serve al tempo stesso da imbiancante e da protettivo, in quanto determina la distruzione della sostanza organica ancora presente nell'interno delle diatomee.

Per montare le diatomee in condizioni adatte per l'osservazione si tratta di scegliere un vetrino del diametro di 12 millimetri e dello spessore di 1 o 2 decimi di millimetro. Il vetrino portaoggetti vero e proprio deve invece avere uno spessore di 1 millimetro, ed è facilmente acquistabile con queste caratteristiche presso molti fornitori di articoli ottici e di ricerca medica.

Si pulisce quindi accuratamente il vetrino superiore e quello inferiore, con acqua calda e sapone; si sceglie uno dei contenitori in cui si trovano le diatomee e si agita sino a quando il sedimento non sarà tornato tutto in sospensione; con la pipetta si preleva poi una goccia di acqua distillata e la si versa nel centro del vetrino rotondo: se il vetrino stesso era stato pulito con sufficiente cura, l'acqua tenderà a dilagare su di esso, giungendo sino ai bordi senza però traboccare.

Successivamente si aggiunge a quest'acqua distillata una piccola goccia dell'acqua prelevata dal contenitore nel quale si trovano le diatomee. Anche queste ultime tenderanno allora a distribuirsi uniformemente su tutta la superficie del vetrino e si depositeranno su di esse. Evitando quindi che l'acqua possa versarsi, si dispone il vetrino in un luogo al riparo dalla polvere e lo si lascia riposare per una intera nottata, per permettere all'acqua presente su di esso di evaporare. Anche in seguito, sarà bene che il vetrino sia sempre protetto dalla polvere.

A questo punto occorre un piccolo fornellino elettrico, del tipo a piastra calda ossia a resistenza coperta ed una bottiglietta di sostanza adatta per il montaggio degli specimen; personalmente, per le diatomee preferisco il prodotto chiamato « Hyrax ». Si tratta di riscaldare il vetrino rotondo sulla piastra tiepida del fornello e poi di versare al centro di esso una goccia di Hyrax; quindi si toglie il vetrino stesso dal fornello e lo si dispone su di una superficie di legno o di polistirolo schiumoso, allo scopo di consentirne un raffreddamento molto lento.

Con un paio di pinzette si preleva poi il vetrino rotondo, lo si capovolge in modo che la superficie sulla quale si trovano le diatomee sia rivolta verso il basso e lo si preme delicatamente sullo strato di Hyrax in modo che questo raggiunga il bordo dello stesso vetrino circolare. Il vetrino rettangolare viene di nuovo portato sul fornello elettrico, in modo che l'Hyrax giunga ad uno stato di violenta ebollizione. Quando questa comincia a ridursi, per la riduzione del quantitativo di Hyrax, si riporta il vetrino stesso sul supporto termoisolante, sul quale possa raffreddarsi lentamente. L'esperienza insegnerà, caso per caso, quale sia il momento migliore per il trasferimento.

Dopo che il raffreddamento avrà avuto luogo, il vetrino rettangolare viene disposto al disotto dell'obbiettivo del microscopio e quindi viene esaminato. Se i lavaggi e le altre preparazioni di montatura dello specimen saranno stati condotti con la cura necessaria, il dilettante andrà incontro ad una sorpresa che ricorderà a lungo: le diatomee sono state dette « gioielli della natura » e l'uomo è ancora lontano dal realizzare qualche cosa di più raffinato. Inoltre, sebbene siano state registrate le caratteristiche di più di 10.000 specie di diatomee, la lista di questi esemplari cresce continuamente.

Burke raccomanda che il principiante si munisca di un testo di classificazione di microorganismi, che potrà trovare essenziale per riconoscere i vari esemplari; a questo punto egli potrà provare la soddisfazione di applicare la targhetta di riconoscimento con la descrizione degli specimen presenti sul primo vetrino da lui preparato.

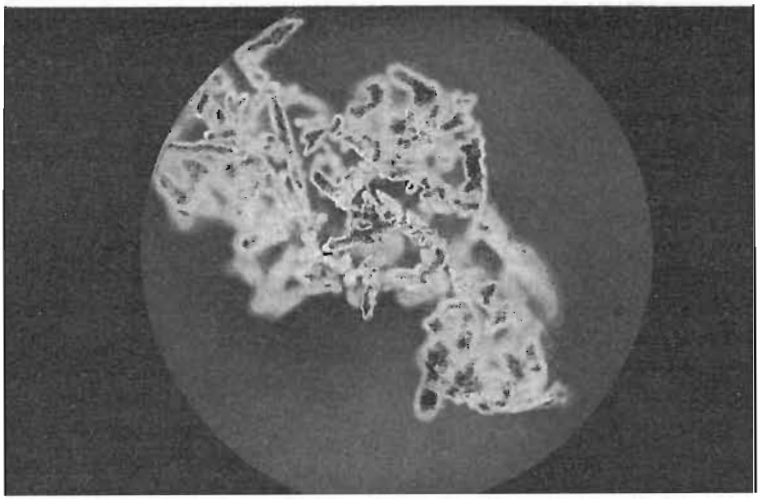
Microfotografia

Mentre si indaga sulla teoria e sulla pratica della microscopia è possibile un'altra piacevole attività ed eventualmente si possono ottenere delle più utili cognizioni di ottica, acquistando una lente obbiettiva a piccola potenza di ingrandimento ed impiegandola in una speciale macchina per l'esecuzione della microfotografia. Molti dilettanti microscopisti alle loro prime armi tendono a sfuggire dalla microfotografia, certo per il fatto che questo aspetto di una attività scientifica come moltissime altre ha finito con il collegarsi, nella mente dei profani, con il concetto di grandissime difficoltà, qualche cosa cioè che possa essere affrontata solamente dai tecnici in camice bianco circondati da una foresta di apparecchiature scientifiche.

Niente invece potrebbe essere più lontano dalla verità: quando si opera con un coefficiente di ingrandimento di 200 diametri, l'attuazione della microfotografia presenta le stesse difficoltà presentate dalla esecuzione di una fotografia con una comune macchina a cassetta.

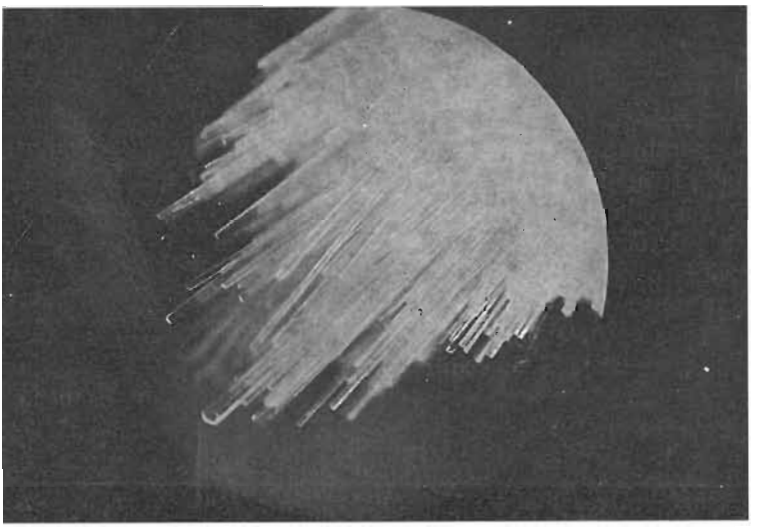
Recentemente, io stesso ho costruito una macchina adatta e, dopo avere ottenuto in prestito da un amico un piccolo assortimento di campioni microscopici di minerali, scattai una serie di fotografie da cui ottenni le stampe delle figg. 212, 213 e 214, nel corso di una sola serata e tengo a segnalare che questi erano i risultati derivati dalla mia primissima prova in questa attività.

L'obbiettivo della macchina era semplicemente installato su di un portalenti di legno, di lavorazione tutt'altro che accurata. Il retro della macchina era rappresentato da un portalastre da 10 $\times$ 12,5 centimetri, prelevato da una vecchia macchina a lastre del 1905, al quale era stato lasciato anche applicato il vetro smerigliato così utile per la messa a fuoco. Il gruppo poste-



212. Microfotografia di cristalli di rame, ingranditi a 100 diametri.

213. Cristalli di Natrolite, ossia di silicato idrosodico e di alluminio.

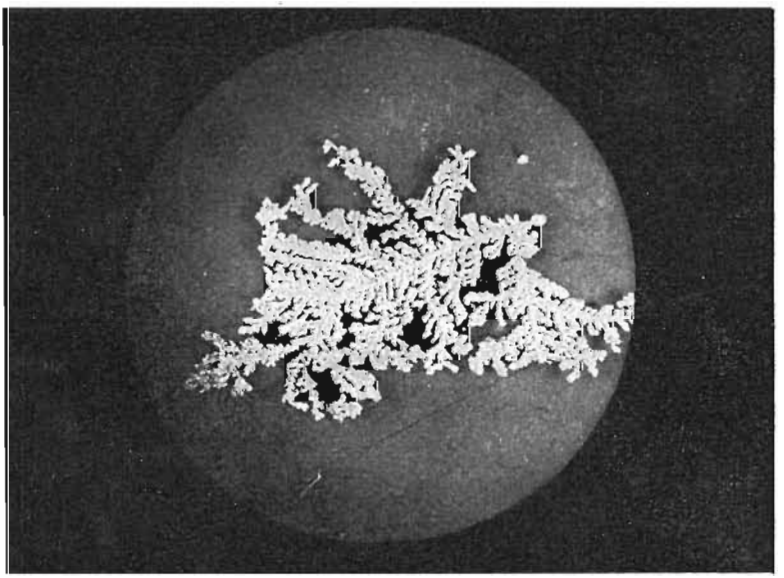


riore e quello anteriore erano stati completati con l'aggiunta di pareti di cartone di forma pressoché trapezoidale, rilevabile dalla fig. 215.

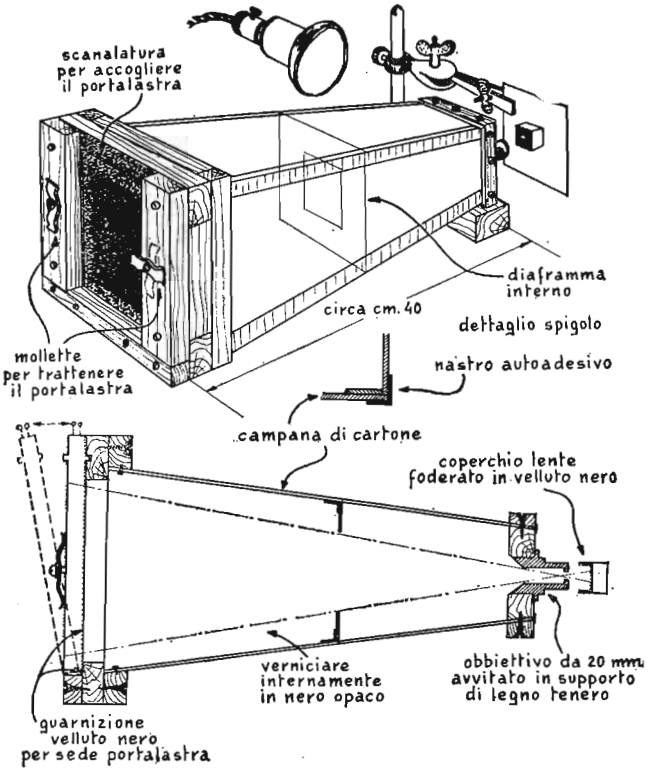
L'otturatore era rappresentato dal semplice coperchio foderato di velluto nero che chiudeva il frontale dell'obbiettivo. Alla messa a fuoco si provvedeva muovendo lo specimen verso la macchina sino a quando una immagine ben definita di esso non compariva sul vetro smerigliato.

Il tempo di esposizione dovette essere stabilito in seguito a prove. Con una lampada a luce diffusa, tipo « flood » da 100 watt situata alla distanza di 35 centimetri dallo specimen, era stata necessaria una esposizione di 45 secondi, in media, con l'impiego di materiale sensibile Plus — X, della Kodak.

L'esposizione avrebbe potuto essere abbreviata con l'impiego di una illuminazione più potente ma un intervallo maggiore di esposizione risulta preferibile per un migliore controllo della luce, a patto che il campione e la macchina, nel corso della espo-



214. Pepita d'oro, visibili le ramificazioni, ingrandita a 50 diametri.



215. Dettagli di una macchina autocostruita per esecuzione di fotomicrografie: con un obbiettivo da 20 millimetri, si ha una potenza di ingrandimento di circa 20 diametri.

sizione non vadano soggetti a vibrazioni che potrebbero determinare dei contorni indistinti nella foto ripresa e tenendo presente che molte delle vibrazioni possono intervenire durante l'operazione dell'apertura del coperchio posto dinanzi alla lente.

2

COSTRUZIONE DI ALCUNI GENERATORI ELETTROSTATICI

Apparecchi di valore storico ed altri di moderna applicazione per la generazione di elettricità statica. La prima macchina elettrostatica. Principi fondamentali. Descrizione dettagliata per la costruzione di un generatore tipo Van De Graaff, del costo di circa 3.000 lire, in grado di produrre una tensione di 100.000 volt. Descrizione di alcuni esperimenti. Un avvertimento in relazione ai generatori Van De Graaff producenti tensioni di milioni di volt.

Verso la fine del XVII secolo un fisico dilettante di Magdeburgo, Otto von Guericke, inventava la prima macchina elettrica del mondo: un generatore elettrostatico. Egli lasciò poi la seguente descrizione per la costruzione di un esemplare analogo.

> Procuratevi uno di quei globi di vetro detti fiale, delle dimensioni di una testa di bimbo; riempitelo di zolfo polverizzato in un mortaio e fate fondere su di una fiamma. Dopo che lo zolfo si è raffreddato, rompete il globo di vetro, estraendone il globo di zolfo e conservate questo in un luogo bene asciutto. Praticatevi un foro diametrale in modo che esso possa ruotare su di un asse di ferro. A questo punto il globo potrà dirsi preparato.
>
> Per dimostrare la presenza delle cariche elettriche prodotte da questo globo, disponetelo su due supporti distanziati in modo che ciascuno di essi accolga un'estremità dell'asse applicata al globo; le dimensioni dei supporti debbono essere previste in modo che il globo risulti sollevato di circa una spanna dalla base della macchina, indi distribuite sulla superficie di quest'ultima frammenti di vario genere, quali pezzi di foglie secche, polvere di oro, limatura di argento, piccoli frammenti di carta, capelli, trucioli di legno, di plastica, ecc.

Applicate poi una mano ben asciutta alla sommità del globo e fate ruotare questo, con la manovella, ricavata dall'asse, sino a compiere due o tre giri: in queste condizioni il globo denuncia la carica elettrica distribuita, attirando i frammenti di varie sostanze, che vanno appunto ad aderire sulla sua superficie.

Quando una piuma viene messa a contatto con il globo in rotazione e quindi liberata nell'aria, essa salta via prontamente dal globo stesso dimostrando una sorta di animazione e, se qualcuno dispone una candela accesa sul tavolo e porta la piuma stessa alla distanza di circa una spanna dalla fiamma, di norma la piuma stessa sfreccia via costantemente in direzione del globo su cui, se abbastanza leggera, rimane aderente.

Dopo aver descritto numerosi altri esperimenti in alcuni dei quali il globo, caricato di energia elettrostatica, produceva della luce o dei rumori, von Guericke concludeva:

Molti altri fatti misteriosi aventi origine da questo globo non possono essere citati, per brevità. La natura spesso presenta anche nelle cose più comuni delle meraviglie così straordinarie che, per questa loro posizione, non possono essere rilevate se non da coloro che, per naturale ed innata curiosità per ogni fenomeno, indagano su tutto con la sperimentazione.

Dieci generazioni di ricercatori si sono dedicate alla sperimentazione dall'epoca di von Guericke: sono così profondi i misteri di quella sfera di zolfo, che il suo comportamento, sino da allora strano, continua ad essere considerato tale anche oggi, quando i ricercatori manovrano il controllo di una macchina acceleratrice di Van de Graaff, oppure quando essi passano semplicemente una mano asciutta sulla schiena del gatto.

L'elettrostatica è comunque rimasta, sino a poco tempo addietro, una curiosità e la maggior parte delle persone limita i suoi rapporti con essa a quella forma di leggera scossa crepitante che viene ricevuta toccando la maniglia di una porta oppure un altro oggetto metallico, dopo avere camminato a lungo in una stanza bene asciutta coperta da un tappeto, oppure da quella che viene a volte ricevuta dagli automobilisti che scendano dalla vettura, durante una giornata secca, dopo un percorso di molti

chilometri. Coloro che sono poi interessati come dilettanti ai problemi della radio, borbottano che l'elettrostatica è qualche cosa a cui si impreca, senza studiarla.

L'elettricità statica non è mai divenuta importante dal punto di vista economico, forse per il fatto che la natura è stata, con noi terrestri, più generosa nel fornirci di materiali magnetici e di materiali conduttori piuttosto che nel fornirci dei buoni materiali isolanti. La nostra tecnologia elettrica è oggi basata sulle apparecchiature elettromagnetiche ed elettrochimiche; l'energia elettrica che ci occorre viene, per lo più, prodotta alla presenza di magneti o di campi magnetici e di conduttori che si muovono in mezzo a questi.

Le macchine elettrostatiche sono state messe a profitto solamente per pochi lavori speciali, quale quello della produzione di un elevato potenziale per esperimenti di laboratorio, per la sterilizzazione di sostanze in chimica ed in medicina e per la produzione di raggi X di elevata energia.

Taluni tecnici credono però che l'elettrostatica abbia ampie possibilità tecnologiche nel futuro; uno di essi è John G. Trump, professore di elettromeccanica all'Istituto di Tecnologia del Massachusetts. Egli precisa che le forze risultanti dalla presenza di cariche elettriche, sono tra le più dirette e le più potenti tra quelle esistenti in natura. Egli ed i suoi colleghi del M.I.T. stanno anzi conducendo certe ricerche intese alla realizzazione di un generatore elettrostatico di potenza tale che potrà, forse un giorno, competere con quelli elettromagnetici.

Il professor Trump dimostra come la capacità a produrre energia elettrica nelle macchine elettrostatiche può essere accentuata, citando l'esempio di due piastre metalliche aventi ciascuna l'area di 625 centimetri quadrati, disposte una di fronte all'altra, separate da un isolatore.

Se tra queste due armature viene applicata una differenza di potenziale dell'ordine dei 300 volt per centimetro di distanza, le piastre stesse saranno attratte una verso l'altra con una forza di circa 0,227 grammi. Se si manterranno tutte queste condizioni e si aumenterà solamente la differenza di potenziale portandola a ben 30.000 volt per centimetro di distanza, la forza di attrazione diverrà di circa 225 grammi.

Se poi si introduce questo sistema di piastre in un ambiente

di alto vuoto, notoriamente ottimo isolatore, e si porta la differenza di potenziale tra le due armature ad un valore di 3 milioni di volt per centimetro di distanza, si ha l'aumento della forza di attrazione esistente tra di esso, ad un valore di ben 2578 Kg. « Forze di questo ordine », dice Trump, « hanno un interesse tutt'altro che limitato per i tecnici ».

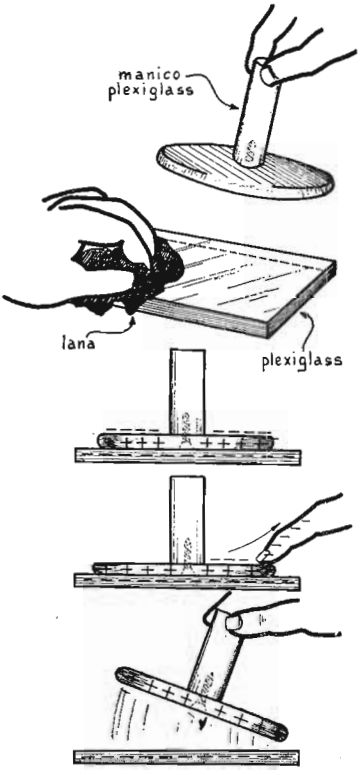
Trump ed i suoi collaboratori sono impegnati al problema di sviluppare un pratico sistema per l'isolamento nel vuoto che renda possibile un'intensità di campo dell'ordine dei milioni di volt in una macchina di grandi dimensioni. Se riuscissero in questo obbiettivo, il generatore elettrostatico di potenza potrebbe considerarsi già divenuto una realtà. Le parti operanti di una tale macchina potrebbero apparire come gli elementi di un enorme condensatore variabile, con le armature inserite alternativamente. Solo il rotore si dovrebbe muovere e la macchina potrebbe essere costruita in metallo leggero.

Un generatore di questo tipo, delle dimensioni di circa metà di quelle di una camera normale, e del peso di pochissimi quintali, potrebbe produrre una energia di 7500 chilowatt. L'efficienza di una di queste macchine potrebbe essere assai maggiore di quella offerta dalle normali macchine generatrici elettromagnetiche.

Qualche esperimento di elettrostatica

La storia dell'elettrostatica comincia con la constatazione, da parte di Talete di Mileto, del fatto che l'ambra, frizionata su di un materiale morbido ed asciutto, assumeva la proprietà di attirare degli oggetti leggeri; attraverso i secoli, sperimentatori come von Guericke, esplorarono le « stupefacenti meraviglie » dell'elettricità statica, con una serie di macchine ingegnose che noi stessi possiamo dilettarci ad imitare.

Una delle macchine più importanti dal punto di vista storico, è stato l' « elettroforo perpetuo », di Alessandro Volta, ora conosciuto con il semplice nome di Elettroforo (v. fig. 216). Volta scrisse a Joseph Priesley della Società Reale, il giorno 10 giugno 1775: « Io dunque richiamo la vostra attenzione su di un corpo che, dopo essere stato elettrizzato per mezzo di un



216. Versione con materiali moderni dell'elettroforo di Alessandro Volta.

semplice e breve sfregamento, non solo non perde la sua carica elettrica, ma mantiene anzi ostinatamente la capacità di segnalare la presenza della carica elettrica pure dopo essere stato toccato innumerevoli volte ».

L'elettroforo consiste di due parti: 1) un blocco rettangolare di materiale isolante come il plexiglass o, possibilmente, il polietilene, e 2) un disco di metallo montato su di un'impugnatura isolante. Quando il blocco 1 viene sfregato con un tessuto soffice di lana, un certo quantitativo di elettroni si distaccano dal tessuto stesso e si depositano sul materiale plastico, in maniera molto simile a quella con cui uno straccio intriso di olio deposita una parte del grasso su di una lastra pulita di vetro sulla quale viene passato.

I primi sperimentatori (che naturalmente usavano ceralacca, gomma indurita, ed altre sostanze resinose, invece della plastica moderna) spiegarono infatti dicendo che la sostanza isolante così sfregata, era stata « elettrizzata per frizione ». Ad essi sfuggì però di constatare come, nel corso delle operazioni, lo straccio assumeva esso pure una carica, ma di polarità opposta.

Quando gli elettroni, nel corso delle operazioni descritte, lasciano lo straccio e passano sulla plastica (poiché ciò accade in quanto alcuni degli atomi della lana trattengono gli elettroni con forza minore di quelli della plastica isolante) gli atomi che hanno perduto gli elettroni divengono altrettanti ioni caricati positivamente.

Per questo accade che la superficie della lana rimane cosparsa di piccole zone con carica positiva, mentre la superficie della plastica presenta zone simili, ma aventi carica negativa. Le cariche sono statiche, il che significa che rimangono fissate nei punti dove sono state applicate, poiché in una sostanza isolante gli elettroni non sono in grado di muoversi liberamente.

Anche quando Beniamino Franklin nominò l'estremità « negativa » e « positiva » del campo elettrico, si ritenne che il campo stesso avesse origine dalla propria estremità positiva. Egli avrebbe potuto prevenire tale confusione, se avesse invertito i nomi nell'assegnarli, poiché ora noi dobbiamo dire che la corrente scorre dal positivo al negativo, mentre è ben noto che il flusso di elettroni passa del negativo al positivo.

Il campo esistente tra una coppia di cariche opposte viene spesso presentato come uno schema di linee curve che si irradiano nello spazio da una zona in cui vi è carenza di elettroni, tendono a dilatarsi e quindi convergono verso una zona dove invece gli elettroni sono in eccesso. Il campo si può ritenere come un certo numero di elastici di gomma ben distesi, per illustrare che vi è una forza di attrazione tra le cariche di segno opposto.

Von Guericke dimostra anche come un corpo isolante, elettrizzato, era in grado di comunicare la propria carica ad altro corpo che fosse elettricamente neutro. Sappiamo ora che questo avviene per accumulazione di elettroni in eccesso che poi il corpo scarica nei punti in cui i due giungono in contatto. Von Guericke dimostrò anche che un corpo può divenire elettrizzato momentaneamente, anche se si limita solamente ad attraversare una

parte di carica, senza giungere a toccare la superficie dove le cariche risiedono.

Egli notò: « se un filo di lana appeso per l'estremità superiore è portato nelle vicinanze del globo e quindi si prova a toccarlo con un dito o con un altro corpo, sfugge via ed è anzi difficile perfino l'avvicinare il dito ad esso ».

Questa è stata una scoperta importante: dimostrava infatti che quando si carica per induzione un corpo, ciò non ha, come conseguenza, la perdita della carica del corpo inizialmente elettrizzato; in più era dimostrato anche che cariche di polarità uguale tendono a respingersi reciprocamente.

Allorché però la carica viene effettuata per contatto, si ha la spartizione di un certo numero di elettroni tra i due corpi che si toccano ed ogni volta che il contatto viene ripetuto, si nota la diminuizione degli elettroni disponibili sul corpo che cede la carica. La carica per induzione invece non comporta la necessità di elettroni liberi da trasferire, ma si basa solamente sul campo creato da questi.

Il campo in questione impone agli elettroni del corpo carico un leggero spostamento al di là della loro normale orbita: è appunto tale spostamento che determina la formazione della carica nella sostanza che in precedenza ne era priva. Quando il corpo, caricato per induzione, viene rimosso dal campo che lo eccitava, tutto torna normale e anche la carica ridotta che possedeva scompare.

L'induzione può impartire ad un conduttore una carica permanente, nel senso che la carica stessa rimarrà su di esso sino a che non si sarà dissipata attraverso le perdite od in altro modo. Tutti i moderni generatori elettrostatici applicano il principio della carica per induzione; il processo della carica comporta, in definitiva, la trasformazione di una energia meccanica in energia elettrica, fenomeno, questo, che può essere dimostrato con chiarezza con l'elettroforo.

Quando il disco di metallo viene posto sulla piastra di plexiglass, la carica negativa presente su questa contrasta quella degli elettroni che si trovano in vicinanza della superficie inferiore del disco. Tali elettroni tendono quindi ad allontanarsi dalla zona e si spostano verso la faccia superiore del disco. Per conseguenza la superficie inferiore del metallo risulta carica positi-

vamente, mentre una carica negativa si manifesta nella faccia superiore del disco.

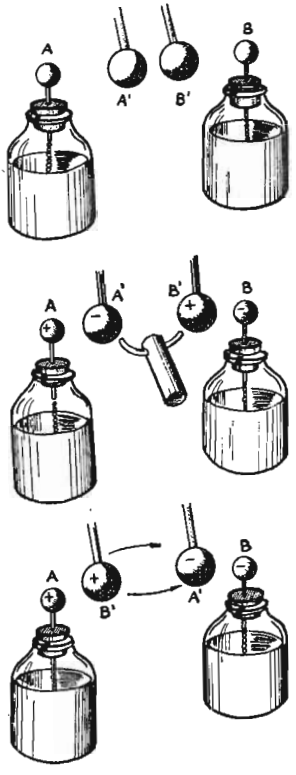
Se, mentre questo ultimo risulta così caricato, lo si tocca con un dito, gli elettroni in eccesso accumulatisi su di esso sfuggono in direzione della terra attraverso il nostro corpo oppure si diffondono nel corpo stesso dove, elettricamente, gli elettroni sono assai meno ammassati. Se, a questo punto, si toglie il dito dalla superficie di metallo e poi si solleva il disco per mezzo dell'impugnatura isolante, una carica positiva assai marcata appare accumulata sul disco.

Questo sistema di carica, come si è visto, non comporta la rimozione di elettroni dal plexiglass né ha origine dall'energia accumulata in tale piastra; eppure, al termine della operazione, il disco di metallo si presenta carico di elettricità positiva (per il fatto che molti protoni sono stati privati degli elettroni che orbitavano attorno ad essi e che ne neutralizzavano la carica e pertanto i loro campi positivi, non più contrastati, si manifestano nello spazio circostante). Il disco in queste condizioni attirerà dei corpi leggeri, a somiglianza di quanto faceva il plexiglass.

Inoltre una scintilla potrà scorrere tra il disco carico ed un dito avvicinato ad esso, come si potrà constatare facilmente in un ambiente leggermente oscurato. L'energia che viene dissipata nella scintilla non è che la trasformazione della energia, spesa dai nostri muscoli, nella contrazione da essi subita quando il nostro braccio ha sollevato il disco metallico del plexiglass. La scintilla era prodotta dagli elettroni, in collisione con le molecole di aria, durante il loro percorso dal nostro dito, in direzione del disco.

Una disposizione assai più efficiente, per la produzione di energia elettrostatica per induzione, prevede l'impiego di due bottiglie di Leuda (v. fig. 217). Una delle bottiglie, A, contiene già una leggera carica positiva; quando il suo terminale positivo viene portato in vicinanza di una sfera di ottone, A', polarizzata con una leggera carica negativa, gli elettroni nella sfera tendono ad accumularsi tutti dalla parte di quest'ultima che si trova alla minima distanza dal terminale positivo della bottiglia.

Similmente, il terminale di un'altra bottiglia, B, polarizzata con una leggera carica negativa, tende ad allontanare, sulla sfera B', gli elettroni, dirigendoli verso la zona della sfera stessa



217. Un primitivo generatore elettrostatico ad induzione.

più lontana rispetto al terminale della bottiglia creando, nella zona in questione, una carica positiva.

Se le due sfere sono, a questo punto, collegate tra di loro mediante un ponticello metallico (v. particolare al centro della fig. 217), gli elettroni in B', (respinti dal campo presente su B e attratti invece dal campo in A) scorrono in direzione di A'.

Se si toglie ora il ponticello metallico, si bloccano le cariche proprio come l'allontanamento del dito dal disco metallico dell'elettroforo bloccava su questo stesso le cariche. Supponiamo ora di cambiare la posizione della sfera, muovendo A' in direzione di B e B' in direzione di A (particolare in basso fig. 217).

Per fare questo dobbiamo in genere eseguire un piccolo lavoro meccanico, poiché A', per esempio, tende ad essere attratto

da A e respinto da B. Questo lavoro viene trasformato ed accumulato come potenziale di energia elettrica non appena portiamo in contatto, rispettivamente, A' con B e B' con A. Gli elettroni in eccesso che si trovano in A' scorrono in direzione di B, elevandone la carica negativa al valore di quella di A'; similmente, A subisce un aumento della carica positiva.

Il ciclo può essere ripetuto all'infinito; in teoria la quantità di energia accumulata nelle bottiglie di Leyda (che altro non sono che dei condensatori) può essere aumentata senza limite: in pratica l'accumulazione viene limitata alla perdita di elettroni che tendono a manifestarsi con maggiore entità, con l'aumentare della carica.

Varie macchine elettrostatiche ad induzione sono state progettate in maniera da creare questa sequenza di operazioni con successone automatica ed a grande velocità; in tali macchine, i « portatori di carica » assumono la forma di piccole lamine metalliche in luogo delle sfere originarie mentre i condensatori sono ugualmente rappresentati da lamine metalliche, dette armature di campo.

Generatore elettrostatico tipo Varley

Si descrive qui un modello di questo tipo di macchina, brevettata nel 1960 in Gran Bretagna da C. F. Varley, di facile costruzione (v. fig. 218). Essa consiste di una coppia di armature di campo ancorate, con un adesivo od una cera fusa, ad una lastra quadrata di plexiglass sormontata da un disco dello stesso materiale isolante in grado di ruotare e sul quale sono stati ancorati 6 o più settori di foglia di alluminio. Due spazzolini di sottile stagnola mettono momentaneamente in contatto i settori diametralmente opposti, dei portatori, con le rispettive armature di campo, al momento in cui ciascuno dei portatori entra nella zona della rispettiva armatura.

Un'altra coppia di spazzole serve ugualmente a stabilire contatti tra coppie di « portatori » allorché questi, per il movimento del disco, si allontanano alla zona della rispettiva armatura di campo. Una coppia di pettini per effetto « corona », sfiora i portatori stando in posizione intermedia tra le due coppie di spaz-

zole; tali pettini sono rappresentati da barrette di metallo della sezione di 5 millimetri guarnite di puntine da grammofono spaziate di circa 12 millimetri.

L'energia elettrica prodotta dalla macchina, captata dai pettini grazie al potere delle punte, scorre verso una coppia di sfere del diametro di 25 millimetri circa, montate in maniera che possano risultare di fronte una all'altra ed in maniera che la spaziatura stessa sia regolabile.

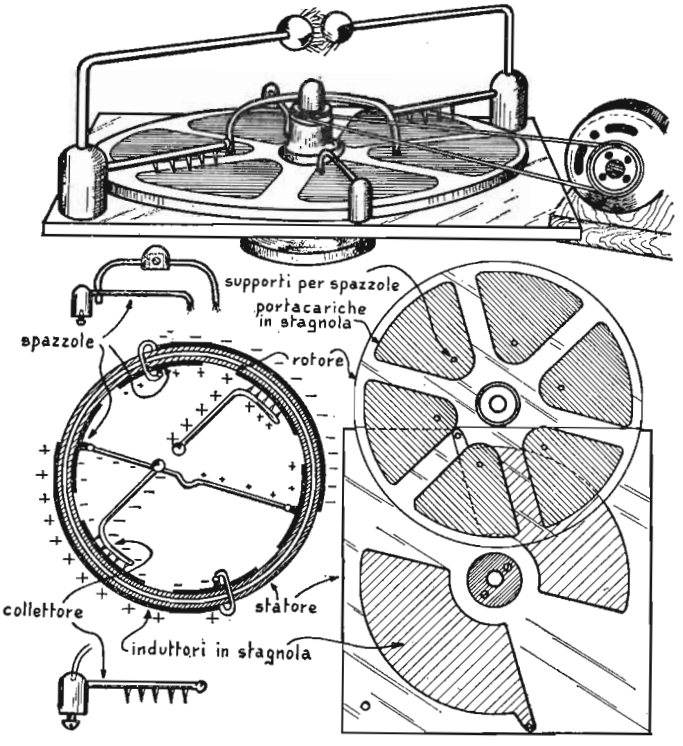
Lo schema a sinistra in basso della fig. 218 illustra la disposizione elettrica delle parti nonché l'andamento delle cariche elettriche. Immaginiamo che esista una carica sia pure piccolissima sull'armatura di campo (segmento esterno di maggiore spessore); degli elettroni scorrono in direzione del « portatore » a sinistra, per cui il portatore di destra viene lasciato, per carenza di elettroni, con una carica positiva. In queste condizioni appare evidente la necessità di compiere un certo lavoro per muovere i portatori verso l'armatura di campo opposta.

Qui essi entrano in contatto con le spazzole attraverso le quali una certa parte dell'energia appena acquisita scorre in direzione delle armature di campo; gli elettroni entrano nelle armature di campo (parte superiore del disegno) partendo dal portatore caricato negativamente, mentre il portatore diametralmente opposto estrarrà elettroni dell'armatura inferiore.

L'azione è simile, nella successione, per tutti i portatori: dopo un breve periodo di funzionamento della macchina, i pettini, che adempiono alla funzione di collettori di cariche, raggiungono il potenziale di ionizzazione, per cui l'energia scorre da tali portatori verso lo spazio di aria compresa tra le due sfere, dove vengono a prodursi delle scariche sotto forma di forti scintille.

La macchina, in queste condizioni, non è molto efficiente, come si può dimostrare osservandone il funzionamento in un ambiente oscuro: i portatori rotanti divengono visibili sotto forma di un disco confuso con alone fosforescente di colorazione variante dal verde azzurrastro al violetto, mentre le armature di campo sono contornate molto chiaramente da un alone rosso.

La scarica per effetto corona dai pettini è molto luminosa; tale spettacolo può essere spiegato con il fatto che gli elettroni scorrono dai sottili ed affilati bordi della foglia e le punte del



218. Generatore elettrostatico da induzione di Varley.

pettine su cui si trovano delle cariche negative in direzione delle parti della macchina caricate positivamente.

Se si fa un accostamento logico e si pensa a questo apparecchio come ad una pompa elettrica, appare evidente che gli aloni e le scintille osservate rappresentano delle vere e proprie perdite di corrente, con conseguente riduzione di rendimento.

L'effetto corona si spiega con la geometria delle parti metalliche della macchina. A meno che esso non sia distorto da un'altra carica, un campo elettrico tipico si irradia nella spazzola, uniformemente, in tutte le direzioni, partendo da un punto fermo carico; se la carica risulta avvolta da un conduttore, le linee di forza rimangono sempre perpendicolari alla superficie.

Nel caso di un conduttore sferico, che può considerarsi un punto spaziale enormemente ingrandito, le linee risultano pertanto distribuite uniformemente sulla superficie della sfera stessa.

Quando la sfera viene deformata in un ovoide però, le linee tendono ad accentuarsi verso l'estremità più appuntita e si attenuano invece verso quella arrotondata sempre per rispettare le condizioni per cui esse debbono emergere dovunque ad angolo retto rispetto alla superficie. L'affollarsi delle cariche all'estremità appuntita diventa più pronunziata, man mano che il raggio del punto spaziale viene ridotto: ciò rappresenta un altro modo di esprimere il concetto secondo cui la intensità del campo, o gradiente di potenziale, aumenta in proporzione inversa rispetto al raggio del conduttore: in teoria tale gradiente si avvicinerebbe ad un valore infinito, all'estremità di un ago sottilissimo.

Anche in pratica, le punte molto accuminate riescono a concentrare campi elettrici di altissima intensità; le punte acutissime, che sono usate nei microscopi ad emissione di campo, riescono a creare intensità di campo di ben 3.000.000 di volt per millimetro, nelle immediate vicinanze di esso, nonostante che lo strumento funzioni con un'alimentazione di soli 5.000 volt.

Sotto queste intensità di campo, gli elettroni sono letteralmente strappati dalle punte metalliche e da queste, proiettati nello spazio circostante inteso come una sfera in infinite direzioni, tutte radiali allo stesso punto. Un gas, se è presente nel tubo dove l'esperimento viene prodotto, ne risulta fortemente ionizzato; similmente, i pettini collettori della macchina di Varley, ionizzano in maniera analoga l'aria circostante, e delle cariche positive vengono trasportate dagli ioni derivati dalla ionizzazione, mentre gli elettroni che sono stati strappati agli atomi per la formazione degli ioni, provvedono al trasporto delle cariche negative.

Nei primi anni di questo secolo, il generatore di Wimshurst, fondato su un principio simile a quello della macchina di Varley, ma composto di uno o più paia di dischi fatti ruotare in direzione opposta, è stato apprezzato per l'alimentazione di apparecchiature a raggi X e di altri complessi che richiedono, per il funzionamento, piccoli quantitativi di corrente, sotto tensioni elevate.

La più grande macchina di questo tipo, era formata di ben 12 coppie di dischi del diametro di 210 centimetri, essa riusciva a produrre potenziali dell'ordine di 200 mila volt.

La macchina Wimshurst e gli altri generatori elettrostatici di quell'epoca non avrebbero potuto mai raggiungere tensioni nell'ordine del milione di volt; pertanto, a partire dal 1920, esse furono largamente sostituite da bobine ad induzione elettromagnetica e da trasformatori, per questa funzione di generare elevate tensioni.

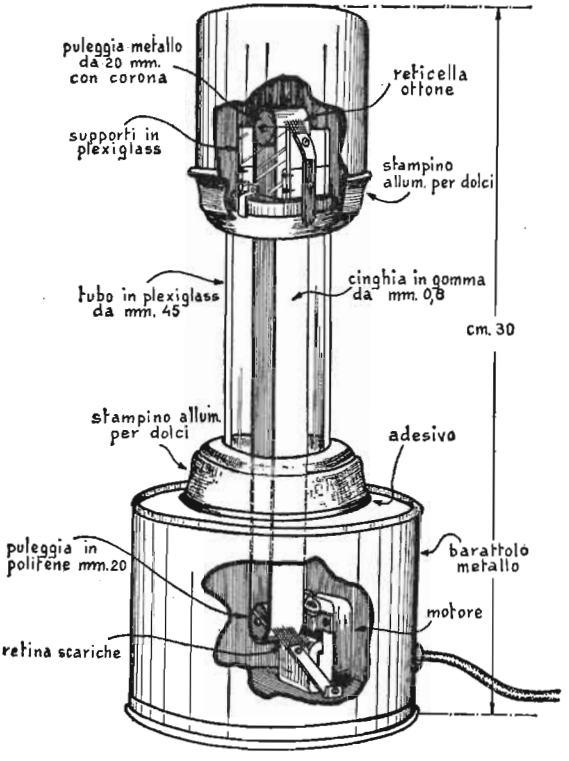
Generatore elettrostatico di Van De Graaff

La fase moderna delle macchine elettrostatiche ebbe inizio nel 1929: in quell'anno Robert J. Van De Graaff, un giovane di Rhodes il quale aveva ultimato gli studi presso l'Università di Oxford, stava lavorando a Princeton, presso una società nazionale di ricerche, ideò il generatore elettrostatico a cinghia rotante che è ormai noto in tutto il mondo con il nome del suo inventore. Questi era interessato alla produzione di una tensione uniforme, a potenziale costante, che, avrebbe dovuto accelerare delle particelle atomiche destinate a bombardare dei nuclei, allo scopo di ricavare notizie relative alla loro struttura interna.

Oggi, l'acceleratore di Van De Graaff fa parte dell'attrezzatura di quasi tutti i grandi laboratori nucleari esistenti nel mondo: esso può considerarsi anzi un vero utensile da lavoro per la conduzione di ricerche di precisione in questo campo. Tale acceleratore è stato in grado di produrre delle particelle dotate di un livello energetico di più di 8.000.000 di volt e si pensa che questa tensione potrà presto essere portata ad un valore più che doppio.

Anche nella versione di minori dimensioni questa macchina si è prestata ad una notevole gamma di applicazioni, in particolar modo come sorgente di alimentazione per il complesso a raggi X ad alta tensione, per il trattamento di alcune materie.

Una delle più interessanti caratteristiche del generatore di Van De Graaff è rappresentata dalla sua relativa semplicità e dal basso costo. Roberto W. Cloud del Laboratorio di ricerca sulle Alte Tensioni presso il M.I.T., ha progettato una versione ri-



219. Macchina Van de Graaff, di piccola potenza: realizzata con barattoli di latta, stampini per gelatina, un pezzo di tubo di plexiglass ed un motorino giocattolo, produce una tensione di 50.000 volt.

dotta dell'apparecchio, di costruzione particolarmente adatta ai dilettanti (v. fig. 219), altrettanto semplice, nel principio di funzionamento, come il suo progetto. Un motorino elettrico, rotante a 3.000 giri il minuto, sistemato in un barattolo di metallo, aziona una specie di cinghia di gomma para, la quale si appoggia sopra una puleggia isolata installata all'interno dell'estremità superiore dell'apparecchio.

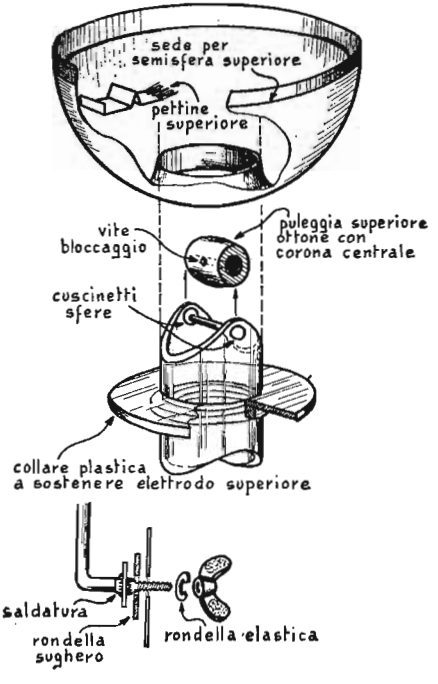
Nella macchina, delle reticelle corrispondenti, come funzione, ai pettini collettori della macchina di Varley, sono sistemate vicino alla superficie della cinghia, a ciascuna delle estremità della

sua corsa, vale a dire vicino alle due puleggie tra cui la cinghia stessa è tesa; ciascuna delle reticelle fa capo al rispettivo terminale.

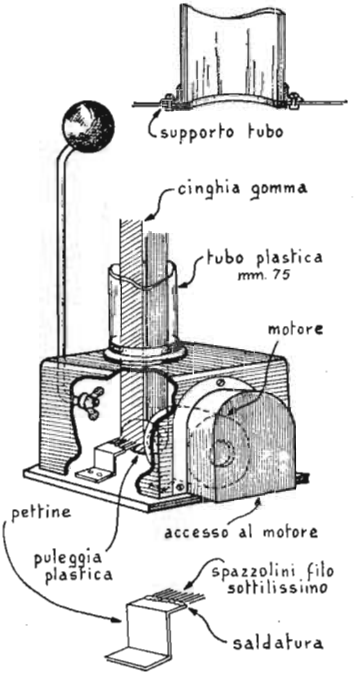
Non appena la macchina viene messa in funzione, il contatto che si determina per frizione asporta degli elettroni dalla cinghia all'estremità inferiore di questa, vale a dire dove si trova la puleggia di plastica isolante collegata al motorino elettrico. Delle cariche positive vengono pertanto a manifestarsi sulla puleggia in quei punti dove essa ha perduto gli elettroni; tali cariche sono poi trasportate dalla cinghia stessa alla puleggia metallica folle situata all'estremità superiore.

Degli elettroni fluiscono quindi alla puleggia metallica, in direzione della cinghia che ne era rimasta impoverita; via via che la macchina continua a funzionare, delle cariche sempre più forti ed a polarità opposta, si manifestano sulle pulegge.

Dopo pochi secondi o dopo qualche minuto, a seconda del



220. Variazione del particolare superiore, nel progetto della piccola macchina di Van de Graaff.



221. Dettagli costruttivi del complesso della puleggia inferiore e della disposizione del motore. Notare le caratteristiche dei pettini.

livello di umidità dell'aria ambientale, il campo elettrostatico che si produce in vicinanza delle pulegge raggiunge un valore tale da dar luogo ad una ionizzazione, in vicinanza delle reticelle che servono da collettore.

Degli elettroni sono quindi trasportati dal terminale superiore e trasferiti sulla cinghia dalla parte in cui essa inizia la porzione di movimento verso il basso. Similmente, gli elettroni che scorrono con la cinghia, poi giungono nella regione prossima alla reticella inferiore, dove si manifesta la ionizzazione e scorrono attraverso la staffa di supporto verso il terminale inferiore della macchina.

Attraverso questa azione di pompaggio, la cinghia estrae continuamente degli elettroni dal terminale superiore e li scarica verso la terra attraverso quello inferiore. Ciò lascia, sul terminale superiore, una marcata carica positiva in quanto per un effetto di ripulsione reciproca, tale carica si distribuisce unifor-

memente sulla superficie esterna del terminale. Come accade in elettrostatica, la superficie interna dei conduttori non presenta alcuna carica; in teoria, la differenza di potenziale tra il terminale superiore e quello inferiore, potrebbe essere aumentata senza limiti.

Come nel caso della macchina di Varley e di Wimshurst però, in pratica, la carica producibile risulta limitata dalle caratteristiche dell'isolamento esistente che separa i due terminali, ad un regime di due microamperes, valore questo identico alla capacità di erogazione di corrente da parte della macchina.

Per quanto il valore di 100.000 volt possa fare una certa impressione, la macchina non dà luogo a pericolo alcuno per le persone in quanto, data la piccola dimensione del terminale superiore, l'abilità o capacità di esso ad accumulare una carica risulta molto limitata.

Se un oggetto sufficientemente arrotondato viene avvicinato a circa 25 millimetri dal terminale superiore ad alta tensione, si può vederlo colpire da una scintilla: quando si produce una carica di questo tipo, la zona di aria che ne risulta interessata, viene rapidamente trasformata da buon isolante, come era in condizioni normali, in un conduttore abbastanza efficiente e la scintilla che scocca, porta alla scarica totale del terminale.

È appunto la riduzione del potenziale del terminale superiore, che consente all'aria della zona di ricuperare la sua capacità isolante e il terminale viene di nuovo caricato dalla cinghia. Se un oggetto, nella cui forma sono presenti punti e spigoli vivi, viene avvicinato al terminale superiore, tende ad assorbire la carica per effetto corona ed il potenziale del terminale diminuisce.

Un organo, predisposto in maniera che la spaziatura possa essere variata, viene spesso usato nei generatori di Van De Graaff, allo scopo di creare una sorta di regolazione automatica di tensione, necessaria affinché il potenziale del terminale si mantenga al livello voluto.

Una sorgente costante di corrente continua ad alta tensione si presta a numerosi esperimenti. Uno dei più interessanti è forse quello della « sfera animata »: 5 o 6 piccole sfere, di midollo di sambuco o di altro simile materiale leggero, vengono coperte da una superficie conduttrice di fuliggine o di grafite. Esse sono

poi sistemate in una sorta di gabbia, che può essere costituita con una striscia di plastica trasparente avvolta su di un cilindro e munita all'estremità di due coperchi di metallo.

Detti coperchi sono collegati rispettivamente a due terminali della macchina di Van De Graaff. Non appena la macchina entra in funzione, il campo elettrostatico esercitato dal coperchio superiore attrae le leggere sferette le quali saltano verso di esso; giunte in contatto, gli cedono il loro carico di elettroni indi, non più attratte, cadono in basso: il ciclo si ripete in continuità, sino a che ai due coperchi viene applicata la tensione dalla macchina.

Se si ancora un sottilissimo ago da cucire ad un isolatore e lo si collega mediante un conduttore al terminale superiore della macchina, delle molecole di aria ionizzata vengono proiettate dalla punta dell'ago stesso come se fluissero, sotto forte pressione, da un vero e proprio ugello. Questo getto è talmente forte da essere in grado di spegnere un fiammifero o una candela: questo vento elettrico può essere messo in evidenza anche quando viene utilizzato, per azionare un semplice motore.

Si taglia, da un pezzetto di leggera foglia di alluminio, una sorta di svastica a quattro punte con le estremità molto sottili; quindi si crea al centro della croce un piccolo incavo, con la testa di uno spillo in maniera di creare un alloggiamento per il perno che, è inutile dirlo, deve essere nella posizione necessaria perché la svastica stia in equilibrio, perfettamente orizzontale, quando si pone sul perno stesso, rappresentato da una punta di spillo verticale verso l'alto, mantenuta in questa posizione da una piccola base in cartone.

In queste condizioni la svastica è libera di ruotare su questo perno: farà ciò anzi con molta energia, non appena lo spillo sarà stato collegato al terminale ad alta tensione della macchina di Van De Graaff. Il fenomeno si potrà spiegare come un vero e proprio effetto di reazione, comparabile a quello di un aereo a getto: l'aria ionizzata portata all'indietro dalle quattro punte della svastica, costringe quest'ultima a spostarsi in direzione opposta, ossia in avanti.

La potenza erogabile da una macchina Van De Graaff di questo tipo è sufficiente per impartire ad una persona una carica del potenziale di circa 50.000 volt. Tale potenziale è di ben

20.000 volt superiore alla tensione di ionizzazione dell'aria alla pressione atmosferica; tra l'altro sarà possibile vedere i capelli della persona stessa, se asciutti, drizzarsi ed irrigidirsi; per condurre questo esperimento, la persona deve disporsi sul fondo di una grande coppa di vetro rovesciata od anche su di una piccola base di legno secco sostenuta, ai quattro angoli, da altrettanti bicchieri capovolti.

La persona tocca il terminale ad alta tensione della macchina in funzione: dopo alcuni secondi, i suoi capelli lentamente si sollevano. Va reso noto anche il fatto che, la presenza del corpo umano in collegamento elettrico con il terminale della macchina aumenta la capacità di essa e per questo, il gruppo è in grado di accumulare una carica alquanto maggiore di quella che potrebbe accumulare la sola macchina.

Quando la persona che si è prestata all'esperimento, scende dal supporto isolante, oppure tocca un oggetto collegato a terra subirà una scossa elettrica alquanto dolorosa, dovuta alla scarica del potenziale che aveva accumulato: tale scossa comunque non risulta pericolosa per una persona in normali condizioni di salute.

I tubi fluorescenti, tenuti ad un'estremità con la mano, brilleranno di una luce abbastanza forte se l'altra estremità di essi sarà posta in contatto con il terminale ad alta tensione della macchina; nel caso che l'ambiente in cui si conduce l'esperimento non sia troppo illuminato, sarà possibile vedere perfino nelle lampade a filamento il prodursi di luminescenze di vari colori, in funzione del tipo di gas dell'atmosfera che regna nel bulbo.

Sarà perfino possibile produrre un'aurora boreale in miniatura facendo bollire dell'acqua distillata in un piccolo fiasco di vetro, sino a quando il vapore non avrà scacciato dal recipiente tutta l'aria e quindi applicando immediatamente un tappo a tenuta ermetica. Dopo che il vapore in sospensione si sarà condensato in acqua, l'aria rimasta nel recipiente, abbastanza rarefatta, presenterà una luminescenza verdastra e rossa, allorché il fiasco verrà portato con la sua parte esterna in contatto con la macchina Van De Graaff.

Gli sperimentatori in possesso di un'attrezzatura adatta alla produzione di un vuoto abbastanza spinto, possono tentare la

costruzione e l'impiego di un semplice acceleratore lineare di particelle e delle poche altre apparecchiature usate nelle ricerche di fisica nucleare.

Occorre dire che si tratta di progetti piuttosto impegnativi, che vanno quindi affrontati con molta attenzione, comparabili a quelli relativi alla costruzione dilettantistica di un ciclotrone o di un grosso modello di missile; ad ogni modo, si tratta di progetti realizzabili con relativa facilità e particolarmente adatti a gruppi di studiosi interessati a problemi simili (v. anche il progetto di disintegratore di atomi della sezione 6ª).

Per alimentare un tale apparato, occorre una macchina Van De Graaff in una versione alquanto maggiorata, v. fig. 222 che differisce, da quella a bassa potenza, in molti importanti particolari. Le punte che servono a caricare la cinghia nella sua corsa verso l'alto, sono alimentate da un potenziale tra i 5.000 ed i 10.000 volt, ottenuto da un complesso formato di trasformatore elevatore e raddrizzatore di corrente; le macchine di alta potenza utilizzano poi, ad entrambe le estremità della cinghia, pulegge di metallo delle quali quella superiore è isolata dal terminale ad alta tensione.

La carica viene distribuita sulla cinghia mentre questa scorre verso la zona ad effetto corona compresa tra le punte inferiori e le pulegge inferiori di azionamento, metalliche, collegate alla terra. Un analogo insieme di punte, situate all'interno del terminale superiore, rimuove le cariche dalla cinghia, vicino al termine del suo percorso verso l'alto e, attraverso la connessione diretta esistente, le convoglia alla puleggia metallica superiore.

Dopo un breve periodo di funzionamento della macchina, tale puleggia assume una carica assai forte ed una parte della tensione tende a passare al terminale superiore della macchina, scorrendo attraverso la resistenza limitatrice e quindi superando, per effetto corona, il piccolo spazio di aria esistente tra la punta ed il terminale superiore della macchina stessa; il circuito può essere anche realizzato con il collegamento diretto tra la resistenza limitatrice ed il terminale superiore, e creando, in sostanza un corto circuito dove, nella fig. 222 è indicata appunto la scarica a corona.

Un secondo gruppo di punte collegate direttamente con il terminale superiore ad alta tensione della macchina, viene di-

sposto in maniera da trovarsi di fronte al punto più alto raggiunto dalla cinghia, vale a dire prima che questa riprenda a scendere. La differenza di potenziale esistente tra la puleggia superiore (caricata dalla caduta di tensione ai capi della resistenza regolatrice di corrente e dallo spazio a effetto corona) ed il terminale superiore ad alta tensione, costringe le punte a proiettare sulla cinghia, allorché essa intraprende la sua corsa verso il basso, una carica con polarità opposta.

Il valore della resistenza regolatrice di corrente viene scelto, in macchine di piccole dimensioni, nell'ordine di 40 megaohm, le cinghie per apparecchiature di una certa potenza sono generalmente costituite da tela gommata ed il motore ed il sistema di trasmissione sono previsti in maniera che il nastro possa scorrere a velocità compresa tra i 1.200 ed i 1.800 metri al minuto.

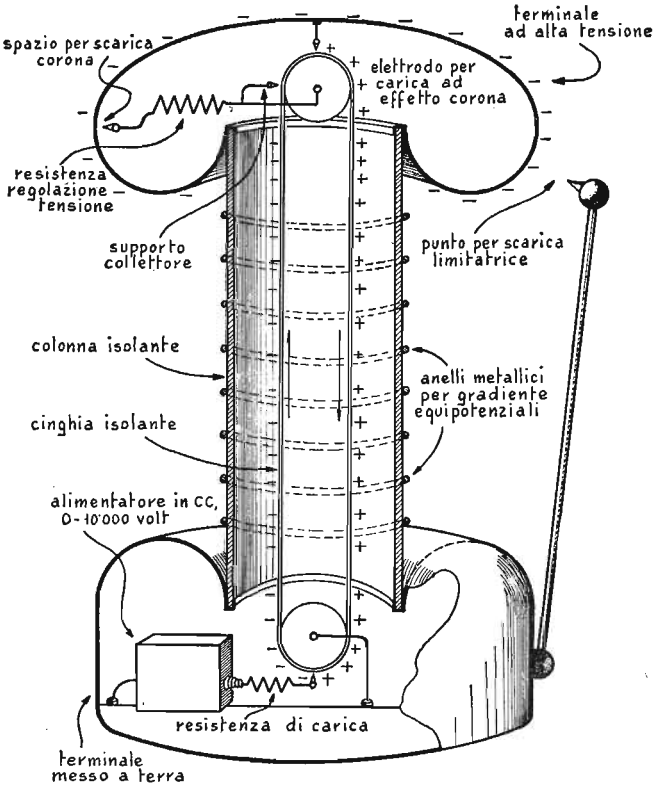
La capacità del terminale superiore ad accumulare una carica elettrica varia in funzione delle sue dimensioni; varia invece in funzione della sua forma la sua capacità di conservare la carica stessa. La forma ideale, per il terminale in questione, sarebbe certamente quella sferica; sfortunatamente tale ideale non può essere attuato per la necessità di prevedere nel terminale stesso, una via di entrata della cinghia isolante, la quale deve andarvi a depositare le sue cariche.

La forma deve comunque essere tale che la intensità del campo presente in ogni punto del terminale ad alta tensione sia sempre inferiore al valore al quale si determinano le scariche per effetto corona od addirittura delle vere e proprie scintille.

Ne deriva che l'apertura presente al terminale deve avere i bordi rilevati verso l'interno, in maniera che le cariche siano costrette a trattenervisi; in più, le superfici del terminale superiore e di quello inferiore che si trovano di fronte debbono avere dimensioni e forma pressoché uguali.

Abitualmente si affida l'incarico della realizzazione dei terminali a qualcuno di quegli artigiani che « tirano » al tornio la lastra dei metalli lavorabili quali alluminio, ottone, bronzo e rame.

Le macchine Van De Graaff in grado di produrre tensioni dell'ordine di milioni di volt, previste per scopi scientifici ed industriali, sono attualmente montate, quasi tutte, all'interno di



222. Rappresentazione semeschematica di una macchina Van de Graaff di alta potenza.

una camera cilindrica di acciaio contenente Freon od anidride carbonica o qualche altro gas neutro, alla pressione di molte atmosfere, pressione questa, prevista allo scopo di aumentare il potere isolante del gas e quindi accentuare la capacità della macchina sotto tensione ad accumulare corrente. Va detto per inciso che macchine di questo genere sono poste in vendita dalla High Voltage Engineering Corp. americana.

Quando le macchine Van De Graaff sono progettate per la produzione di potenziali superiori ai 200.000 volt, la distribu-

zione della carica lungo la colonna isolante (e quindi anche lungo il percorso della cinghia) diviene un elemento di grande importanza: le colonne, nel caso di macchine con isolamento ad aria, in cui siano utilizzate delle cinghie di larghezza maggiore dei 10 centimetri, dovrebbero essere completate con serie di anelli equipotenziali spaziati uniformemente 50 millimetri uno dall'altro.

Avvertenza

Chiunque affronti la costruzione di un generatore Van De Graaff di alta tensione deve tenere presente che non sta lavorando ad un giocattolo: sono questi, infatti, apparati che nascondono un pericolo mortale; essi sono, è vero, in grado di consentire esperienze assai più interessanti di quelle condotte da Von Guericke ma, a differenza della sferetta di zolfo della sua apparecchiatura, essi racchiudono l'incontenibile potenza di un fulmine.

Note sul progetto della macchina Van De Graaff

Due importanti elementi di informazione per colui che intende progettare o costruire una macchina Van De Graaff sono i seguenti: per prima cosa il fatto che il passaggio, su una qualsiasi delle pulegge di un tratto di cinghia, avente un'area complessiva di 315 centimetri quadrati, è in genere sufficiente per la produzione di una corrente di un microampère; in secondo luogo, il fatto che il massimo potenziale sviluppato dalla macchina potrà essere uguale a 2.800 volte il più piccolo raggio di curvatura del collettore, espresso in millimetri.

Pertanto una sfera perfetta, del diametro di 300 millimetri, avrà un potenziale massimo teorico di 420.000 volt; i fori, prodotti nella sfera per consentire il passaggio della cinghia e per accogliere gli organi accessori, alterano l'andamento del campo elettrico e riducono il potenziale massimo.

L'esperienza ha dimostrato che il migliore compromesso con la forma ideale è, per un collettore, quella di uno sferoide leg-

germente appiattito al fondo, con il raggio di curvatura minima situato ad una distanza ragionevole dall'isolatore di supporto, per prevenire la tendenza del prodursi di scariche lungo la superficie dell'isolatore stesso.

La scelta che il costruttore fa del massimo potenziale da produrre determina la dimensione del collettore; ad ogni modo, perché su questo possa essere disponibile una frazione sensibile del massimo potenziale teorico calcolato, occorre che il collettore stesso sia distante almeno il doppio od il triplo del suo diametro da qualsiasi altro oggetto metallico o conduttore che si trovi nell'ambiente dalla stessa parte di questo.

La distanza poi dovrebbe essere ancora maggiore nel caso che le parti metalliche in vicinanza della macchina presentassero delle punte e degli spigoli vivi, mentre essa può essere ridotta, nel caso che tutte le parti metalliche siano coperte con schermi, ugualmente metallici e curvi, con grande raggio di curvatura, la cui convessità sia rivolta verso la macchina.

L'apertura attraverso cui la cinghia entra nella base del collettore non deve essere, in nessun caso, maggiore della metà del diametro del collettore; i suoi bordi poi, debbono essere sempre rivolti dolcemente verso l'interno, con un raggio di curvatura abbastanza ampio.

Una lucidatura accurata del collettore non è essenziale, sebbene migliori assai l'aspetto della macchina. Le imperfezioni della superficie, purché di piccola entità, e bene arrotondate, limitano di poco il potenziale massimo; gli spigoli vivi, le punte e le arricciature debbono essere invece smussate.

È da tenere presente anche che perfino le particelle di polvere accumulatasi sulla sfera possono ridurre del 40% il potenziale massimo teorico ottenibile se esse sporgono dal livello della superficie in misura della centesima parte del raggio di essa.

Normalmente un collettore di alluminio realizzato per « tiratura », purché esente da polvere, riesce ad accumulare una carica potenziale dell'85% di quella massima teorica; nel caso che si impartisca al collettore stesso una lucidatura a fondo, si potrà aumentare il potenziale dell'1%, il che, a volte, può rappresentare un miglioramento apprezzabile.

La concentrazione della carica attorno al foro attraverso cui la cinghia entra nella sfera incide, per il restante 14%, sul mas-

simo potenziale teorico; ad ogni modo, questa percentuale varia in funzione della dimensione e della forma del foro, nonché della sua distanza rispetto ad altri corpi metallici.

Le semisfere usate per la realizzazione del collettore di un prototipo di macchina di Van De Graaff, realizzate in foglia di alluminio di 1,8 millimetri, sono costante circa 2.500 lire ciascuna, prezzo questo assai ragionevole in relazione al costo della materia prima e dell'accuratezza del lavoro eseguito.

La scelta della corrente che si vuole possa essere erogata dalla macchina determina la larghezza della cinghia e la velocità alla quale questa deve scorrere. Non è facile però, come sembrerebbe, soddisfare a queste condizioni, su cui influiscono anche le caratteristiche dei materiali impiegati per la cinghia ed il complesso delle bronzine dell'albero.

Per ottenere un'erogazione massima di corrente occorrerebbe in teoria adottare, per la cinghia, la massima velocità possibile; in pratica però, si riscontrano degli inconvenienti, allorché si prova a fare scorrere la cinghia a velocità superiore a 30 metri al secondo.

Velocità più elevate accentuano, ad esempio, la tendenza delle cinghie a sfilacciarsi lungo i bordi e ad aprirsi nei punti dove siano state aggiuntate; particolarmente, nel caso di pulegge di piccolo diametro, per raggiungere elevate velocità, occorre tenere presente che una notevole tenditura della cinghia, onde evitare gli slittamenti di questa, porta a difficoltà relative ai supporti ed alle bronzine.

Le inevitabili difficoltà nella lubrificazione, nel caso di bronzine, limitano il regime di rotazione dell'albero della puleggia in quello di 5.000 giri al minuto. Il livello di rumore prodotto dai cuscinetti a sfera, d'altra parte, può risultare molesto allorché si superi tale velocità.

Quando la cinghia viene fatta scorrere a velocità superiore ai 30 metri al secondo, si nota anche una sensibile perdita di potenza per attrito nell'aria; infine, a velocità eccessiva, pare che una porzione della carica sia letteralmente proiettata via dalla cinghia, fenomeno questo, ben difficile da spiegare.

Le cinghie possono essere di qualsiasi materiale isolante flessibile: carta, tela, gomma, plastica e simili. La gomma, a causa della sua bassa resistenza all'ozono che si forma in notevole

quantità durante il funzionamento della macchina, ha una bassa durata; ad ogni modo, data la convenienza di tale materiale (che può essere ottenuto da camere d'aria usate), appare in genere inutile insistere nella ricerca in questo senso per trovare una sostanza migliore.

Il rayon, il nylon, il dacron e la tela, ridotti in nastri ed aggiuntati con adesivi all'acetone, possono essere usati per formare le cinghie con analoghe prestazioni; va segnalato però che, quando questi materiali vengono usati in luogo della gomma, la posizione dei pettini collettori ad effetto corona deve essere invertita.

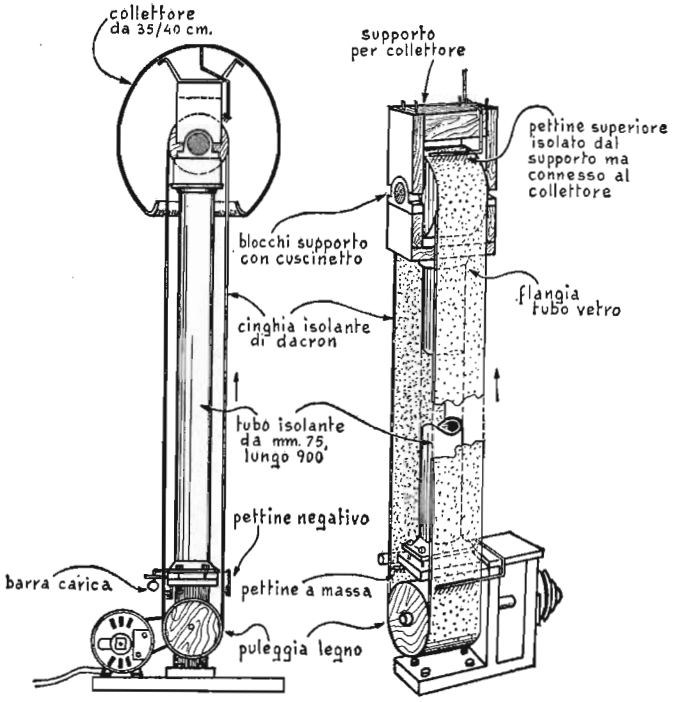
Le cinghie di tela hanno una durata maggiore di quelle di gomma, risultano più silenziose e richiedono, per il movimento, una minore tenditura ma, come è stato detto, tendono a sfilacciarsi lungo i bordi: questo ad ogni modo può essere evitato, applicando sui bordi stessi un velo di soluzione diluita in gomma sintetica e quindi insensibile all'ozono.

Tutto considerato comunque, il compromesso ideale tra costo e durata per una buona cinghia è certo quello dell'impiego di una cinghia di neoprene o gomma sintetica.

La puleggia superiore deve essere realizzata con un metallo conduttore di elettricità; non si deve però rimanere sorpresi se per questo elemento viene prescritto l'impiego di legno o bachelite: a tale voltaggio infatti, questi materiali si comportano come ottimi conduttori, grazie anche alla bassissima corrente circolante e quindi anche all'altrettanto bassa caduta di tensione.

Si può fare uso ad esempio di ritagli di compensato incollati insieme per formare un blocco da cui, a mano o al tornio si ricava un'ottima puleggia di legno. La puleggia inferiore dovrebbe ugualmente essere di materiale conduttore, nel caso che nella macchina realizzata, sia previsto l'impiego di un'alimentazione a corrente continua di 5-10.000 volt, per applicare le cariche sulla cinghia.

Nel caso che la macchina sia del tipo autoeccitato (ossia se la cinghia debba caricarsi da sola per frizione) la puleggia inferiore dovrebbe essere costituita da un materiale ad altissimo potere isolante o almeno ricoperta da uno strato di tale materiale: una copertura, dello spessore di 0,7 millimerti, di nastro di politene, immobilizzato con pezzetti di nastro scotch, rappresenta



223. Generatore elettrostatico di Van de Graaff con cinghia esterna e con eccitazione interna.

un'eccellente materia isolante, adattissimo ad essere applicato su pulegge di legno.

Per impedire che detta fasciatura tenda a scorrere di lato, occorre però che sulla puleggia, durante la lavorazione al tornio, sia previsto, ad entrambe le estremità, un leggero ingrossamento.

La scelta del materiale per la puleggia e per la cinghia destinate ad una macchina ad autoeccitazione determina la polarità della carica sul collettore: una cinghia di gomma che scorre su di una puleggia inferiore di politene o di polistirolo, tende in genere ad asportare gli elettroni del collettore, ossia del terminale superiore ed a caricarli quindi positivamente.

Le cinghie possono scorrere sull'interno o sull'esterno del sup-

porto isolante della macchina: le preferenze ed i vantaggi di economia, semplicità e maggior rendimento, sono per il suo scorrimento all'esterno, mentre per l'aspetto generale della realizzazione appare preferibile che esse stiano all'interno.

La prima disposizione permette l'uso di un piccolo e relativamente economico isolatore, a basse perdite elettriche e difficilmente deteriorabile dall'ozono prodottosi per le scariche a corona; esso permette anche l'uso di una cinghia della massima larghezza possibile rispetto ad una determinata larghezza nel foro del collettore. Con tale disposizione risultano anche ridotti al minimo i problemi derivanti dal gradiente di potenziale lungo l'isolatore.

Nella preparazione della colonna isolante tutti i materiali fibrosi o igroscopici debbono essere evitati, per la loro tendenza a favorire le perdite di carica attraverso l'umidità che si deposita sulla loro superficie.

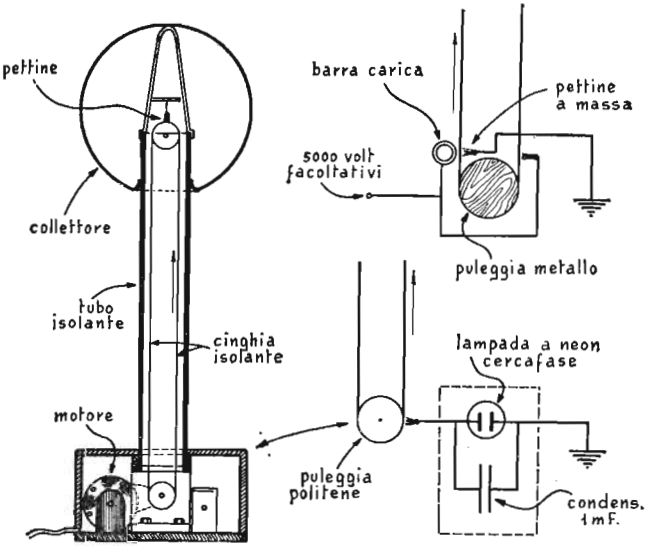
Il materiale deve essere anche scelto in considerazione delle sue proprietà meccaniche, resistenza, solidità e rigidità; infine esso deve pure soddisfare alle esigenze di basso prezzo, facile reperibilità e semplice lavorazione.

Vi sono tubi di laminati poliesteri, rinforzati con fibre di vetro e anche tubi di cloruro di polivinile, che soddisfano a tutte queste condizioni e sono anche facilmente reperibili nelle dimensioni standard.

Nel diametro di 75 millimetri, essi costano dalle 3 alle 5.000 lire al metro; delle due sostanze, il cloruro di polivinile è il meno igroscopico ed il più isolatore; essendo termoplastico, si presta a particolari lavorazioni quali quella della formazione di flange per mezzo del semplice riscaldamento, sino al punto di rammollimento, attuato mediante immersione nella paraffina fusa.

I pettini o punte per l'effetto corona, destinati ad applicare le cariche alla cinghia, possono essere realizzati in diverse maniere: spesso, un semplice spillo od una sola puntina da fonografo, possono risultare altrettanto efficienti come il più complesso dei pettini a molte punte.

È anche possibile realizzare un pennellino di filo metallico avvolgendo molte spire su di un supporto qualsiasi di cartoncino, riunendo, in un punto, le spire stesse e tagliando all'estremità opposta; un pettine altrettanto eccellente può realizzarsi



224. Generatore Van de Graaff con cinghia interna ed eccitazione esterna.

con un rettangolo di fine reticella metallica rivolta, con la costola più lunga, verso la cinghia.

Occorre semmai una certa attenzione per evitare che su alcune zone della cinghia siano applicate delle cariche indesiderate: ciò può accadere ad esempio se si consente alle cariche stesse di mescolarsi, in vicinanza delle pulegge, sulla parte anteriore e su quella posteriore della cinghia.

Il problema si affronta e si risolve mantenendo di preferenza i pettini su supporti che ne permettano la facile regolazione in una vasta gamma di posizioni e scegliendo, al tempo stesso, per i pettini, le forme e le dimensioni più adatte per limitare la zona della cinghia su cui le cariche sono applicate.

3

APPARECCHIATURA ECONOMICA PER LA PRODUZIONE DI RAGGI X

Partendo da una vecchia valvola radio, da un poco di filo di rame e da qualche altro economico materiale, per un costo totale di 10 mila lire circa, è possibile costruire una macchina per la produzione di raggi X in grado di permettere l'esecuzione di foto riuscite anche attraverso uno strato di 25 millimetri di legno. Vengono anche segnalate le misure di sicurezza da rispettare. Note sull'invenzione di Roentgen. Considerazioni sulla teoria dei raggi X.

Harry Simons, abitante al n. 118 di Windsor Street, Kearny, N. Jersey è un solitario scienziato dilettante. « Per 23 anni », egli scrive, « ho continuato ad armeggiare nella gamma dei raggi X dello spettro delle onde elettromagnetiche, senza avere mai l'occasione di incontrarmi con un altro dilettante. Migliaia di entusiasti si possono incontrare nella regione delle onde radio, delle radiazioni luminose e di quelle gamma, ma nessuno è mai giunto a fare le sue ricerche nel mio campo.

Se la prospettiva di esplorare un campo relativamente nuovo delle radiazioni elettromagnetiche, può apparire interessante per qualcuno di quei dilettanti, io stesso posso promettere una buona caccia nella regione delle lunghezze di onda dell'ordine dei 10^{-8} centimetri, per una spesa totale inferiore alle 10.000 lire ».

Come esca invitante per i ricercatori, Simons presenta la collezione delle radiografie riprodotta nelle figg. 225, 226, 227, 228. Egli dimostra un particolare orgoglio nel presentare la prima di esse, quella cioè nella quale sono visibili delle viti affondate in uno strato di legno, dello spessore di 25 millimetri. Questa foto rappresenta infatti il risultato del suo primo esperimento con i raggi X ed illustra cosa possa accadere quando qualcuno con la vista acuta segua una buona pista.

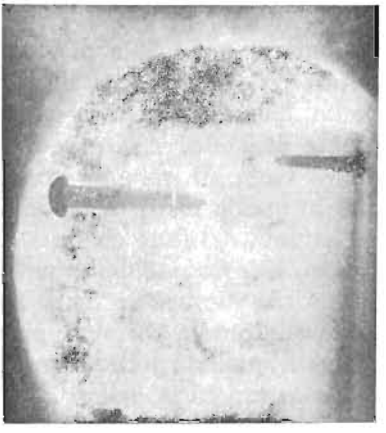
Durante un sabato piovoso, nel 1933, Simons stava armeggiando con una bobina di alta tensione ed alta frequenza di Oudin. Questo congegno quasi dimenticato, parente stretto della bobina di Tesla, è in grado di aumentare delle tensioni abbastanza basse, di mille ed anche più volte. L'alta tensione generata in questa maniera presenta un vantaggio, specialmente per i dilettanti, nel fatto che essa risulta relativamente innocua.

Con l'elevazione della tensione, la bobina di Oudin dà luogo anche alla elevazione della frequenza della corrente stessa in modo che questa corrente, giungendo ad assumere le caratteristiche di quella a radiofrequenza, tende a scorrere specialmente lungo la superficie della pelle delle persone che colpisce, e non giunge quindi in profondità dove potrebbe ledere gli organi vitali, quali il cuore.

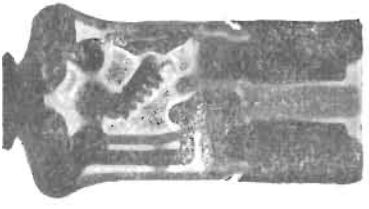
La bobina originaria di Oudin, ricorda Simons, era parte di un complesso a raggi ultravioletti con cui io stavo esaminando i minerali per la loro fluorescenza. Non vi era una ragione particolare quando decisi di sostituire al bulbo a vuoto di quarzo, che produceva le radiazioni ultraviolette, una vecchia valvola radio tipo 01.

Il bulbo di vetro di questa valvola risulta coperto da uno strato argenteo di magnesio depositato per evaporazione, dal cosiddetto « getter » che contribuisce a mantenere libero l'interno della valvola dai gas che possono esservi rimasti dall'epoca della sua evacuazione e ad assorbire quelli che possano liberarsi nel bulbo, dagli elettrodi, durante il funzionamento successivo della valvola stessa. Nel corso di questo esperimento, mi limitavo semplicemente a tenere la valvola 01 nella mano, e ad avvicinare gli spinotti di collegamento al morsetto sul quale era presente la tensione elevata prodotta dalla bobina Oudin.

Invece di riempirsi della luminescenza color lavanda, come accadeva per il bulbo a quarzo che produceva gli ultravioletti, l'interno della valvola 01 rimaneva oscuro ma la parte di vetro che risultava in contatto con la zona di magnesio appariva illuminata con una pallida fluorescenza verdastra che mi ricordava una simile luminescenza prodotta dai tubi di vecchio tipo a raggi X, con atmosfera gassosa. Venne quindi legittimo il mio sospetto che nella valvola radio si producessero dei raggi X.

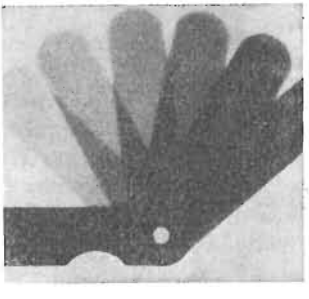


225. Radiografia di Simons di due viti metalliche affondate in un blocco di legno.



226. Radiografia della presa di un ferro da stiro: le parti più oscure sono metalliche.

227. Spina di un pesce messa in evidenza da una macchina a raggi X autocostruita.



228. Efficacia della macchina a raggi X di Simons nel penetrare le foglie di acciaio di uno spessimetro da 0,05 a 0,25 millimetri.

Per ottenere la risposta a questo interrogativo avvolsi una stretta striscia di stagnola attorno alla sommità del bulbo e la collegai a massa, per creare un elettrodo analogo a quello che veniva rappresentato in precedenza dalla mia mano che teneva il bulbo.

Cercai poi un piccolo blocco di legno nel quale erano per caso affondate due viti metalliche e lo disposi su di un ritaglio di pellicola fotosensibile avvolta in un pezzo di carta nera. Quindi esposi l'insieme del legno e della carta sensibile all'azione della radiazione emessa dalla lampada, per un tempo di 15 secondi mentre questa ultima rimaneva alla distanza di 17,5 centimetri dal blocco stesso. Quando, più tardi, sviluppai la pellicola, trovai su di essa una sorprendente radiografia delle viti: da questa constatazione ebbe inizio il mio hobby attuale che consiglio a tutti quanti siano interessati alla ricerca ed ai problemi di fisica.

Viene da chiedersi il perché del fatto che questo hobby non abbia avuto una presa adeguata su molti altri dilettanti; una ragione può forse ricercarsi nell'elevato costo delle apparecchiature per i raggi X. Anche i tubi di minore potenza quali sono quelli per gli esami odontoiatrici, costano sulle 60.000 lire o più e molte delle altre parti occorrenti per una apparecchiatura a raggi X sono ugualmente costose e difficili da procurare anche come parti di ricambio.

Il complesso che fornisce la tensione elevata ai tubi convenzionali per raggi X, nonostante non sia molto più elaborato dell'alimentatore di un trasmettitore dilettantistico di media potenza, rende necessarie speciali parti, per il raddrizzamento, oltre a trasformatori ed altri elementi che non figurano nel catalogo normale della maggior parte delle ditte di materiali radioelettrici.

In più, i raggi X si sono conquistata una cattiva reputazione come soggetti da esperimento. Non si può infatti stabilire una vera e propria differenza tra il pericolo di una esposizione della persona ad una potente apparecchiatura per la produzione dei raggi X e quello comportato invece dalla caduta della pioggia radioattiva derivata da un esperimento fatto con una bomba ad idrogeno: si tratta infatti di un pericolo che si estende non solo allo sperimentatore stesso ma anche alla sua progenie.

L'evoluzione umana è infatti il risultato di una lunga serie di mutazioni causate, oltre che da altri agenti, anche dalle radiazioni cosmiche che continuamente cadono sulla terra e dalle radiazioni emesse continuamente dalle sostanze radioattive presenti dovunque nella crosta terrestre. Ognuna di queste radiazioni, applicata all'uomo, ne altera il regime della mutazione e si è dimostrata una causa effettiva di conseguenze molto profonde.

Simons aveva risolto il problema del costo dell'apparecchiatura; il problema della protezione contro il danno apportato dall'esposizione alle radiazioni pericolose prodotte dalla macchina non è affatto difficile da risolvere. Ove si tengano queste due considerazioni in mente, i raggi X aprono una gamma di sperimentazione di vastità tale che poche altre indagini sui fenomeni di fisica sono in grado di uguagliare.

Oltre che fornire le radiazioni X per l'esecuzione di radiografie, un generatore di questi raggi, in collegamento con alcuni accessori, permette la esecuzione di altre ricerche sperimentali assai interessanti, quale quella della misurazione della carica posseduta da un elettrone, quella dello studio sui cristalli, quella dell'osservazione della dualità dello stato della materia e della radiazione, definibile con il concetto di « onda-particella » e di indagare in altri angoli del microcosmo rappresentato dall'atomo.

Come la luce visibile, anche i raggi X rappresentano una forma della energia radiante: la loro capacità ad attraversare delle sostanze opache alla luce visibile non è però né unica né particolarmente insolita. Vi sono infatti molte sostanze che, opache alla luce, risultano trasparenti alle altre onde elettromagnetiche.

Per esempio, le onde radio lunghe, come del resto quelle corte, passano liberamente attraverso al legno secco, al gesso e ad altre sostanze che non conducono l'elettricità e che sono anche opache alla luce visibile: se ciò non fosse, ad esempio, tutti i radioricevitori richiederebbero delle antenne esterne mentre, almeno per la ricezione di molte stazioni locali e vicine, un metro di filo disteso dietro all'apparecchio risulta sufficiente.

D'altro canto, una grossa lastra di vetro al piombo, che fa passare le onde radio e quelle della luce senza alcuna perdita apprezzabile, blocca invece il passaggio alle radiazioni X. La capacità dei raggi X ad attraversare sostanze quali la carne ed al-

cune ossa è forse, tra le caratteristiche di queste radiazioni, quella che è stata sino ad ora sottolineata con maggiore diffusione. Però è questa proprietà che offre un rimarchevole esempio delle applicazioni immediate di una scoperta scientifica. Poche settimane dopo la descrizione fatta da Wilhelm Konrad Roentgen sui raggi X, i medici salutarono queste radiazioni come mezzo di ricerca di primissima importanza.

Queste radiazioni sono caratterizzate da oscillazioni elettromagnetiche di lunghezza d'onda estremamente piccola, dell'ordine, ad esempio, della decimillesima parte di quelle che compongono lo spettro della luce visibile. Come le onde luminose, anche i raggi X possono essere riflessi, rifratti, diffratti e polarizzati. La tecnica con la quale tali raggi sono manipolati differisce però da quella adottata con la luce come le tecniche adottate per la luce differiscono da quelle adottate per le radiazioni elettromagnetiche che costituiscono le radio-onde.

I raggi X di maggiore lunghezza si possono confondere con le radiazioni ultraviolette di minima lunghezza di onda, come i raggi X di minore lunghezza di onda possono confondersi con le radiazioni gamma; la distinzione tra queste due diverse radiazioni anzi può considerarsi piuttosto una materia di definizione che un'effettiva differenza di comportamento. Quando queste emissioni accompagnano la disintegrazione di una sostanza radioattiva come il radio, si tende a chiamarle radiazioni gamma, mentre onde elettromagnetiche identiche vengono invece chiamate radiazioni X quando vengono prodotte con mezzi puramente elettronici.

Tutta l'energia radiante, ivi compresi anche i raggi X, deriva la sua origine dal disturbo che viene imposto sulla carica elettrica di un atomo. Si consideri una carica puntiforme quale può essere rappresentata da un elettrone, che sia circondata da un campo elettromagnetico simmetrico e che si sposti nello spazio ad una velocità costante. Cosa accade dunque al movimento del campo magnetico circostante quando la carica elettrica centrale viene accelerata o rallentata nel suo momento?

Gli esperimenti indicano che questo campo reagisce in maniera molto simile ad una massa di gelatina; quando la carica centrale viene accelerata, il disturbo viene trasmesso radialmente attraverso il campo come il movimento di un'onda, in

cui la parte esterna del campo stesso richiede un intervallo di tempo abbastanza sensibile per raggiungere la carica centrale. Il lavoro speso nell'accelerazione della carica centrale viene portato via dall'onda stessa, come energia radiante, ad una velocità che dipende dalla natura della « gelatina ».

Nel vuoto, queste onde raggiungono una velocità massima di poco meno di 300.000 chilometri al secondo. La lunghezza dell'onda dipende dalla subitaneità con cui la carica centrale viene disturbata o viene costretta a cambiare la sua direzione. Un disturbo di notevole entità e violenza richiede l'impiego, per attuarlo, di un lavoro maggiore di quello richiesto da un disturbo più leggero e dà luogo a radiazioni elettromagnetiche di maggiore energia e di lunghezza di onda proporzionatamente minore.

Per le onde irradiate dalle linee elettriche di distribuzione della energia in cui il flusso degli elettroni cambia di direzione in sincronismo con la frequenza, vale a dire 50 volte al secondo, la lunghezza di onda della oscillazione è dell'ordine di 5120 chilometri tra due creste della oscillazione stessa.

È possibile sottoporre gli elettroni a delle oscillazioni assai più rapide. I radars militari, ad esempio, sono basati, nella loro realizzazione, su speciali valvole oscillatrici dette « magnetrons », piccole camere di rame che sono state chiamate, per la loro forma, « il corrispondente elettronico del fischietto dei nostri vigili urbani ».

Le cavità interne di queste valvole sono elettricamente accordate alle frequenze dell'ordine di quattro miliardi di cicli al secondo, ed il fascio di elettroni forzato ad entrare in queste cavità, dopo essere stato emesso da un filamento, vibra secondo questo stesso regime. Le onde elettromagnetiche che risultano da una tale sollecitazione sugli elettroni hanno una lunghezza assai piccola sino a giungere a circa 75 millimetri da cresta a cresta della oscillazione.

Via via che le cavità sono rese progressivamente più piccole, la frequenza delle oscillazioni aumenta, in un certo qual modo, in omaggio allo stesso principio per il quale, il già citato fischietto del vigile produce una nota via via più elevata a misura che per la camera che lo costituisce vengono adottate dimensioni minori.

Ci si chiede, dunque, dove si possa trovare un « fischietto »

che possa accelerare le cariche centrali così rapidamente o così bruscamente da dar luogo alla produzione di onde elettromagnetiche della lunghezza di 0,625 millimetri, quale è la lunghezza d'onda delle radiazioni corrispondenti alla luce visibile: la risposta è che la natura stessa fornisce dei sistemi di tali caratteristiche, sotto forma di atomi e di molecole.

L'atomo normale, stabile nelle condizioni di riposo, non emette radiazioni, sino a quando non viene sollecitato da una sorgente esterna di energia. Se un elettrone in movimento veloce incontra un atomo nel suo stato normale ossia di riposo, può accadere ad esso di entrare in collisione con uno degli elettroni planetari dello strato orbitale esterno dell'atomo.

L'urto può causare nell'atomo il salto dell'elettrone in una orbita ancora più lontana dal centro dell'atomo stesso. Un'onda elettromagnetica dotata di sufficiente energia che colpisce l'atomo può determinare la stessa conseguenza, a patto che sia soddisfatta la condizione per cui la frequenza dell'onda incidente coincida con il periodo del movimento dell'elettrone orbitale esterno. In entrambi i casi, in seguito allo scontro, l'atomo assorbe dell'energia e diviene instabile.

Lo stato normale dell'atomo viene comunque ricostituito ben presto, quando l'elettrone salta di nuovo nell'orbita corretta dalla quale era stato allontanato a seguito della sollecitazione. Questo rappresenta lo spostamento di un centro di carica e l'energia in eccesso viene irradiata nello spazio per mezzo dell'onda elettromagnetica che l'accompagna.

La rapidità del salto, e quindi la lunghezza dell'onda generata, dipende dall'attrazione del nucleo positivo per l'elettrone planetario. Quando gli elettroni trattenuti più debolmente e che occupano un'orbita lontana dal nucleo compiono salti di questo genere, la lunghezza dell'onda irradiata si misura nell'ordine dei 0,625 millimetri, lunghezza d'onda questa corrispondente a quella media della radiazione luminosa.

Questo stesso meccanismo viene interessato anche per la produzione di un tipo di radiazione X. Quando un elettrone libero, accelerato ad una velocità di circa 28,600 chilometri al secondo, entra in collisione con un elettrone che occupa delle orbite interne di un atomo, sia l'elettrone in arrivo come quello colpito possono vagare nello spazio come appare mostrato nello schema

della fig. 229. Il vuoto che viene così prodotto viene immediatamente occupato da un elettrone proveniente da uno strato superiore delle orbite, ossia da un elettrone che si trovi ad una distanza maggiore dal nucleo.

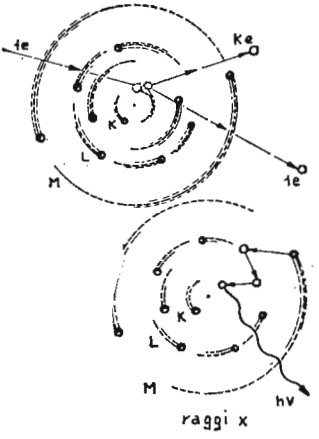
L'attrazione del nucleo nei riguardi di questo elettrone risulta assai maggiore e quindi il salto per il passaggio dall'orbita esterna a quella interna risulta proporzionatamente più violento. L'onda elettromagnetica risultante da una tale commozione nell'interno dell'atomo si misura nell'ordine di 10 milionesimi di millimetro. Questa onda rientra nella gamma della radiazione X.

Il salto iniziale, comunque, non rappresenta la conclusione dello spettacolo: dato il richiamo da cui l'elettrone più esterno è stato attratto verso gli strati più interni, si è creata una lacuna, appunto nello strato esterno: ne deriva una serie di salti determinati dal passaggio degli elettroni alle orbite via via più interne, con cui si riempiono i vuoti che si erano prodotti, schema in basso fig. 229.

Al termine di questa successione si avrà la mancanza di un elettrone solo nello strato più periferico delle orbite; non potendo comunque rimanere in queste condizioni, l'atomo tenderà ad assorbire un elettrone dallo spazio circostante dopo di che potrà considerarsi tornato in uno stato di equilibrio e di riposo. Contemporaneamente alla serie di salti di elettroni, si è comunque avuta la produzione di treni di onde elettromagnetiche di frequenza progressivamente più bassa, con inizio nella regione delle radiazioni X, per passare attraverso quelle ultraviolette, e giungere alle radiazioni luminose, sino a quelle calorifiche.

Lo schema delle forze che agiscono tra il nucleo e gli elettroni orbitali responsabili delle radiazioni è unico per ogni tipo di atomo. È anzi possibile misurare la radiazione emessa a ciascuna frequenza ed ottenere una serie di elementi assai validi per il riconoscimento di ogni atomo; è appunto su questo che si basa il concetto della spettroscopia. Le particelle fondamentali dell'atomo si muovono nelle loro orbite a dei regimi che sono determinati da queste stesse forze; in effetti, ogni atomo è « accordato », proprio come un gruppo di apparecchi radioriceventi che siano sintonizzati per la ricezione di altrettante stazioni trasmittenti.

Gli atomi di elementi che figurano in basso, nella tavola del



229. Rappresentazione classica dell'origine dei raggi X in un atomo eccitato.

sistema periodico, quali carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto ecc., ossia molti di quelli che costituiscono la materia prima della sostanza vivente, sono assai disaccordati con le radiazioni X di frequenza estremamente elevata. Quando tali radiazioni incontrano il protoplasma composto delle sostanze sopra citate, ignorano una tale sorta di barriera e riescono a passare oltre, dove la loro presenza può essere denunciata.

I raggi X di frequenza più elevata, ossia quelli usati per la esecuzione di molte radiografie e per il trattamento di alcune malattie, vengono prodotti quando gli atomi che servono da proiettili irrompono violentemente nel nucleo massiccio di un atomo che serve da bersaglio. La precisa natura di questi scontri non è stata compresa completamente, ma sembra che quando gli elettroni in questione entrano in collisione col nucleo, in pieno, e sono completamente arrestati nel loro percorso, il campo attraversato può consumare l'intera massa della particella che ha subito l'arresto ed in effetti può trasformare l'elettrone stesso in radiazione X di elevatissima energia e frequenza.

Altri elettroni collidono con il nucleo, in modo meno diretto e ne risultano deviati e notevolmente rallentati; anche questa decelerazione viene comunque accompagnata dall'emissione di radiazione X sia pure di energia e frequenza proporzionata. Ne deriva che quando un fascio di elettroni usati come proiettili si

dirige su di un bersaglio costituito di atomi pesanti, l'emissione di energia radiante che ne deriva comprende: 1) raggi X liberati dall'accelerazione di elettroni planetari, e che risultano caratteristici del tipo di atomi che costituiscono il bersaglio; 2) raggi X che esplorano una continua banda di frequenze dalla regione dell'ultravioletto sino alla radiazione X di lunghezza di onda estremamente piccola.

Fu certamente questo secondo tipo di radiazione X, prodottasi dal bombardamento dei nuclei del silicio nel vetro di un tubo Crookes, che condusse Roentgen alla sua scoperta. Mentre studiava la fluorescenza che appariva ad un certo grado di evacuazione del tubo eccitato dall'alta tensione, Roentgen osservò la vivace fluorescenza che si manifestava su alcuni cristalli di platinocianuro di bario situati nelle vicinanze; egli notò poco dopo che i cristalli in questione continuavano ad emettere la luminescenza anche dopo che egli aveva avvolto con della carta nera il tubo, bloccando quindi l'emissione di questo in luce visibile. Nel fare questa constatazione egli concluse che il tubo stava emettendo una forma di radiazione che in precedenza non era stata mai osservata.

Il tubo Crookes consiste di un bulbo di vetro a forma simile ad una pera, nel quale viene fatto un vuoto piuttosto spinto e nel quale sia introdotto un catodo, all'estremità più appuntita ad un anodo all'estremità più larga. Quando una tensione continua di 20.000 volt viene applicata tra i due elettrodi, gli ioni positivi che si producono nel gas rarefatto bombardano il catodo e determinano l'emissione di elettroni dal metallo che costituisce questo.

La maggior parte di questi sono assorbiti dall'anodo ma taluni sbagliano il bersaglio e continuano in direzione del fondo del tubo, dove giungono a colpire gli atomi del vetro del bulbo.

Ben presto, dopo la scoperta di Roentgen il meccanismo della produzione dei raggi X nella seconda delle maniere sopra elencate, venne spiegata per mezzo dell'indagine sperimentale che preparava la strada alle ricerche dirette all'apporto di miglioramenti al tubo stesso.

Formando il catodo nella forma di un paraboloide, per esempio, il fascio degli elettroni poteva essere focalizzato esattamente sul bersaglio di metallo costituito da atomi di peso maggiore di

quelli del silicio. I raggi X che venivano liberati in corrispondenza di questo punto avevano allora un livello energetico maggiore e davano luogo alla produzione di immagini radiografiche più nette di quelle, indistinte, che venivano prodotte dalla radiazione X emessa dal vetro.

Le macchine elettrostatiche per la produzione delle tensioni acceleratrici crebbero in dimensioni sino a che qualcuna di esse giunse a presentare un disco rotante di vetro del diametro di 210 centimetri in grado di generare una tensione di 200.000 volt, sotto una corrente sino a 5 milliampère. Tutti i tubi a raggi X nella loro versione più antica contenevano delle tracce di gas i cui atomi erano necessari, nell'interno, come fonte di elettroni; la presenza del gas imponeva però dei limiti in relazione alla velocità massima di accelerazione, in vista delle molteplici collisioni possibili e anche in relazione della tensione di accelerazione.

Questa limitazione venne però eliminata nel 1913, quando W. D. Coolidge, della General Electric, riuscì nella preparazione di filamenti duttili di tungsteno, che egli usò in sostituzione del catodo a freddo usato nei tubi a gas. Con questa fonte di elettroni, indipendente dalla presenza del gas nell'interno del tubo, in quest'ultimo poteva essere fatto un vuoto ad un livello limitato solamente dalle possibilità delle tecniche di pompaggio. Divennero così pratiche e convenienti tensioni acceleratrici dell'ordine dei 300.000 e più volt.

Tali potenze di alimentazione sollevavano però un nuovo problema, il fenomeno che si manifestava con il riscaldamento del bersaglio, od anodo, colpito dagli elettroni di tale livello energetico. Il problema venne dapprima aggirato usando del tungsteno ad entrambe le estremità del tubo in quanto, tale metallo, presentava una temperatura di fusione assai elevata; successivamente si passò al tentativo della refrigerazione del bersaglio, con acqua circolante, ed infine mettendo a fuoco il fascio di elettroni proiettile in una piccola cavità vicino al bordo di un disco di tungsteno, fatto girare da un motore elettrico o mediante un campo magnetico rotante.

Sebbene il tubo produttore di raggi X usato da Simons non rientri davvero nella classe dei grandi tubi del modello attuale, sul tipo di Coolidge, esso funziona tuttavia in maniera sorpren-

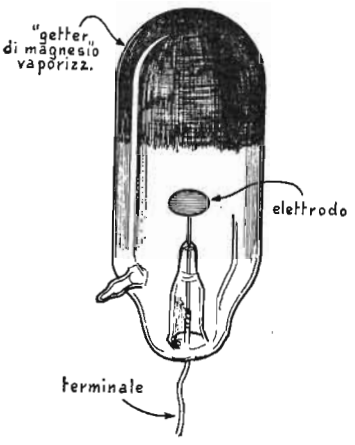
dente. Alcuni anni addietro, Simons inviò la sua prima macchina a George L. Clark, presso l'Università dell'Illinois, che, dopo averla provata, ne fece una relazione sul giornale *Radiology*:

> L'apparato di Simons dimostra che i raggi X possono essere prodotti per scopi sperimentali da un complesso avente costo pari ad una piccola frazione di quello delle normali installazioni commerciali.
>
> La macchina, quando in funzione, produce un fascio di raggi X facilmente rilevabile a distanza di qualche metro, in qualsiasi direzione. Con uno strumento apposito, è stata valutata l'intensità di questi raggi ed essa è risultata di tre quarti di unità Roentgen, al minuto, ad una distanza di circa un metro.

La spiegazione di questa copiosa radiazione, paragonata a quella di un tubo Crookes, sembra sia da ricercarsi nella presenza dello strato di copertura in magnesio vaporizzato.

Sfortunatamente, le vecchie valvole tipo 01 e le altre di simile costituzione, sono ormai di difficilissima reperibilità, anche per il fatto che il magnesio non viene più gradito come materiale assorbitore di gas dall'interno dei bulbi, nella funzione di « getter », eccezion fatta per alcune valvole raddrizzatrici a vapori di mercurio, che però non risultano adatte per la produzione dei raggi X. Per queste ragioni ed ancor più per il fatto che è uno sperimentatore instancabile, Simons ha ormai deciso di fare preparare delle valvole speciali dai locali soffiatori di vetro, il che gli comporta una spesa di circa 9.000 lire ciascuna, cifra questa ancora più che accettabile in considerazione dei costi dei modelli commerciali delle valvole per raggi X. È interessante sottolineare che è ben difficile che due delle valvole prodotte per lui dai soffiatori di vetro siano uguali, per cui anche le esigenze elettriche ed elettroniche di ciascuna delle valvole possono risultare diverse da tutte le altre; per questo, in sostanza, è necessario ogni volta, a Simons, riprogettare ex novo o per lo meno adattare, l'apparecchiatura da usare assieme al tubo generatore vero e proprio: ogni volta, l'impresa rappresenta per lui una nuova ed affascinante esperienza.

In fig. 230 è illustrata una delle più recenti versioni del tubo generatore. Esso è munito di un catodo a disco, in molibdeno e

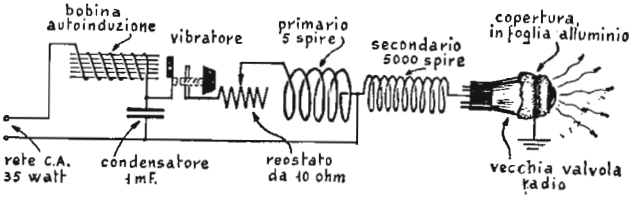


230. Tubo a raggi X progettato e costruito da Simons.

con un bersaglio di magnesio; il tubo viene vuotato sino ad un decimillesimo di millimetro di colonna di mercurio. La lunghezza totale della valvola in questione è di circa 17,5 centimetri, la sua emissione in raggi X risulta sensibilmente maggiore di quella offerta dalla valvola 01 usata nei primi esperimenti.

Le radiografie fatte da Simons, con eccezione di quella che ha per soggetto il blocco di legno e le due viti metalliche affondate in esso, sono state fatte con tale versione del tubo generatore. Tali tubi possono essere realizzati anche con altri materiali, usati come catodi e bersagli, per l'ottenimento di caratteristiche speciali o di speciali emissioni; la varietà dei risultati può anche essere moltiplicata con la variazione della forma dei bersagli e dei catodi.

Quasi ogni fonte di alta tensione può essere usata per l'ali-



231. Schema elettrico dell'apparato di Simons per la produzione di raggi X.

mentazione dei tubi generatori di raggi X, compresi anche i generatori elettrostatici tipo Van De Graaff, di cui un progetto viene anzi fornito in questa stessa sezione. Per l'alimentazione, Simons preferisce comunque rimanere fedele alla bobina Oudin, la quale ha tra gli altri vantaggi anche quello di potersi costruire senza una vera attrezzatura meccanica e con il minimo di utensili a mano.

L'impresa di questa costruzione può essere semplificata nel caso che si riesca a mettere le mani su di una bobina ad induzione con vibratore incorporato, che era usata in alcuni vecchi motori a scoppio a basso regime di rotazione. Come appare dallo schema di Roger Hayward in fig. 231 e come si può vedere nel suo aspetto generale in fig. 232, il vibratore consiste di un nucleo di ferro dolce magnetico, munito di un'armatura ugualmente in ferro dolce e da una coppia di puntine di contatto.

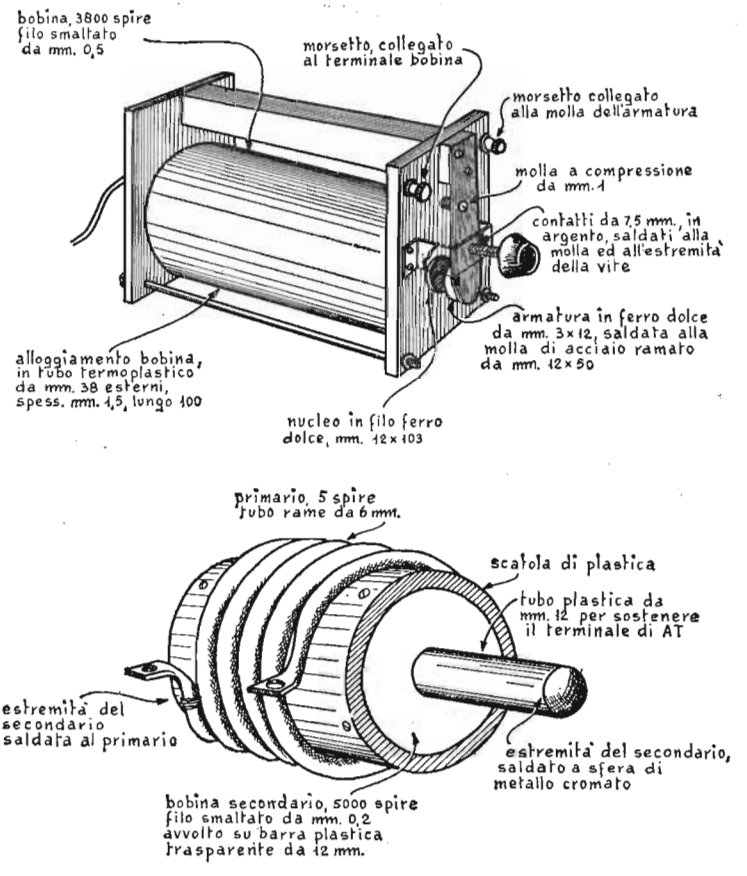
Il nucleo del vibratore è avvolto con 3800 spire di filo smaltato di rame, da 0,5 millimetri ed è appunto questo avvolgimento che è collegato in serie con le puntine del contatto sopracitato. Quando viene shuntata con un condensatore da 1 microfarad, e quando è collegata alla linea elettrica di alimentazione, l'autoinduttanza della bobina è sufficiente a caricare il condensatore ad un potenziale di diverse centinaia di volt, quando le puntine del vibratore sono regolate in modo di aprirsi proprio in corrispondenza del picco dell'alternanza della corrente di alimentazione.

Il condensatore si scarica attraverso l'avvolgimento primario, composto di cinque spire, della bobina Oudin; tale primario è realizzato come si è detto con cinque spire di tubetto di rame da 6 millimetri su di un supporto della lunghezza di 55 millimetri, in tubo di plastica della sezione di 75 millimetri.

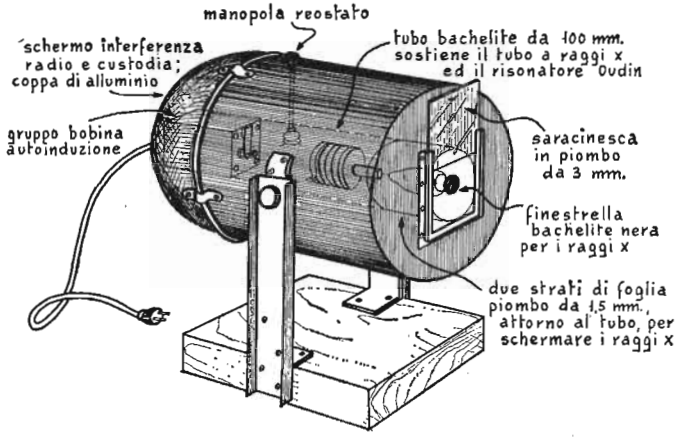
L'avvolgimento secondario consiste di 5000 spire di filo smaltato da 0,2 millimetri in rame, avvolte su di una bacchetta di plexiglass, della sezione di 12 millimetri. Ogni strato di questo avvolgimento deve risultare accuratamente isolato dall'adiacente, a mezzo di tela bachelizzata, fatta sporgere da entrambe le estremità dell'avvolgimento. Una volta poi che l'intero avvolgimento sia stato ultimato, l'intero complesso deve essere intriso accuratamente di una vernice protettiva a base di cere isolanti od anche a base fenolica.

Va anche sottolineato che coloro che non intendano affrontare l'impresa della realizzazione dell'avvolgimento possono affidare questa impresa ad un avvolgitore locale, sul quale sarà anche possibile contare per l'applicazione della vernice isolante di protezione.

Il gruppo del secondario viene quindi inserito nello spazio centrale del supporto tubolare su cui è stato avvolto il primario di cinque spire. Un'estremità del secondario ed in particolare il



232. Il generatore di alta tensione che alimenta la macchina a raggi X di Simons.



233. Macchina per raggi X, costruita da Harry Simons di Kearny, N. J., protetta da un contenitore metallico, sia per l'alta tensione come per le radiazioni.

filo corrispondente al termine esterno del suo avvolgimento, viene collegato ad una delle estremità dell'avvolgimento primario.

L'estremità corrispondente all'inizio del secondario viene invece fatta passare attraverso ad un pezzo di tubo di plastica da 12 millimetri della lunghezza di 100 millimetri e quindi saldata alla faccia interna di un pomello cromato applicato alla sommità del supporto di plastica che fa da asse per tutto l'avvolgimento, facendo funzionare il pomello da terminale per la tensione elevata.

Le estremità del supporto tubolare del primario vengono quindi chiuse con dischi di plastica dello spessore di 6 millimetri della stessa natura fissati al posto mediante un adesivo prodotto con una soluzione nella stessa plastica in solvente adatto. Utile anche l'applicazione di qualche vite metallica, a patto che non sia di eccessiva lunghezza né risulti sporgente, in quanto potrebbe comportare dei pericoli per l'isolamento e specialmente per le possibili scariche da effetto corona.

Un foro da 12 millimetri nel centro dei dischi è naturalmente necessario per accogliere la barretta che fa da supporto per l'avvolgimento secondario dello speciale trasformatore.

Si solleva momentaneamente il pomello che serve da terminale per l'alta tensione in modo da poter introdurre nella sottostante cavità, ove non si tratti di barra o di tubo, del grasso isolante od anche della cera fusa.

Se il montaggio sarà stato eseguito con cura ed anche lo schema elettrico di fig. 231 sarà stato eseguito con attenzione, il complesso collegato alla rete elettrica di alimentazione, se ben regolato, darà luogo alla produzione di una tensione abbastanza costante (alternata), di 50.000-75.000 volt. Il regime di consumo di energia dalla rete di alimentazione, sotto una tensione di 125 volt ed una frequenza di circa 50 periodi, è dell'ordine dei 40 watt.

Come appare nella fig. 233, tutto questo complesso deve essere alloggiato in un contenitore metallico ben collegato a terra. Il tubo a raggi X deve poi essere inserito in uno scompartimento interno, di lastra di piombo, dello spessore di almeno 3 millimetri. Un'apertura alla stessa estremità e nella stessa posizione, centrata al fondo dei due alloggiamenti, serve da finestrella di uscita per i raggi X emessi dall'apparato.

ATTENZIONE! *Il complesso è pericoloso e va usato adottando alcune precauzioni*

Per prima cosa, le bobine di Oudin sono notoriamente altrettanti emettitori di radioonde che prendono la forma alla ricezione di un crepitio estremamente sgradevole. Tali emissioni possono giungere a coprire qualsiasi ricezione televisiva e radiofonica, nel raggio di diversi chilometri tutt'intorno. Vi sono leggi ministeriali che vietano l'uso di tali apparecchiature, a meno che queste non siano state accuratamente schermate in modo da annullare o quanto meno ridurre al minimo le loro emissioni.

Se, nonostante tutte le precauzioni prese per attuare una schermatura efficiente, si nota ancora la presenza di radiazioni ricevibili da una radio o da un televisore situati nelle vicinanze, occorre provvedere all'inserzione di un filtro « passa-basso » sul cavetto bipolare che porta corrente all'apparecchio, in quanto è da temere che l'irradiazione delle onde disturbanti, abbia appunto luogo attraverso questa via, ossia l'ultima che non abbia

subita la schermatura. Qualsiasi testo di radioelettricità fornisce ampi dettagli circa le caratteristiche costruttive di tali filtri, in funzione delle prestazioni che da questi si attendono.

Ogni qual volta la macchina a raggi X è in funzione, lo sperimentatore deve indossare un grembiule di gomma di piombo, come quello usato dai medici che operano con apparecchiature di radioscopia; in più egli deve evitare di stare sulla linea passante per il foro dal quale i raggi X fuoriescono dall'apparecchio.

Va sempre evitato di esporre qualsiasi parte del corpo che non sia opportunamente protetta, al fascio di radiazioni emesse, che sono ancora più subdole, per il fatto che non sono visibili direttamente e per il fatto che le conseguenze che esse apportano non sono immediate ma diluite nel tempo, con un effetto di accumulazione per i vari quantitativi di radiazione assorbiti in epoche diverse. In particolare, è da evitare che la schiena sia esposta alle radiazioni, dato il pericolo che queste raggiungano la spina dorsale e gli altri centri nervosi.

È altresì utile sistemare, inseriti in altrettante bustine di carta nera, dei pezzetti di pellicola sensibile, distribuiti in vari punti della stanza nella quale si fanno gli esperimenti, in varia posizione rispetto alla macchina; dall'annerimento di qualcuno dei ritagli sarà possibile accertare la presenza di fughe di raggi X da punti imprevisti così da potersi premunire contro di esse, applicando ad esempio, delle schermature di lastra di piombo su qualcuna delle fessure della custodia che contiene l'apparato, ecc.

Va anzi raccomandato di tracciare una specie di carta topografica dell'ambiente in cui la macchina è installata, con le varie dimensioni, in maniera da indicare su questa, mediante zone di colore facilmente riconoscibili, quali siano i punti più raggiunti dalle radiazioni.

È indispensabile poi resistere alla tentazione di usare qualsiasi parte del proprio corpo, come anche di qualsiasi corpo vivente, per le osservazioni radioscopiche: qualsiasi pesce, congelato o no, qualsiasi pollo, prima della cottura, rappresentano interessanti materiali di osservazione e non comportano alcun pericolo.

La radiazione X può essere resa visibile con molte materie che presentino una certa fluorescenza ad essa: il materiale ideale

è rappresentato dal platinocianuro di bario, materiale questo usato anche negli schermi per la vera radioscopia; comunque, uno schermo di fortuna, può anche essere realizzato con una qualsiasi polvere fluorescente a base di uranio, o di solfuri di zinco, od anche con la polvere raschiata dall'interno di qualche tubo fluorescente rotto.

4

TUBO A VORTICE DI « HILSCH »

Con nient'altro che pochi pezzi di materiali per tubazioni e con una sorgente di aria compressa, è possibile realizzare una semplice ma interessante apparecchiatura per la produzione di temperature moderatamente basse. Il complesso serve a separare le molecole dotate di elevate energie da quelle a bassa energia. George O. Smith, un tecnico di Tumson, N. Jersey, discute la teoria e la costruzione dell'apparecchio.

Il fisico britannico del XIX secolo, James Clerk Maxwell apportò molti ed importanti contributi alla fisica e, tra i più significativi di questi, era certo la sua legge della distribuzione casuale. Considerando il caso di una scatola chiusa contenente un gas, Maxwell iniziò dicendo che la temperatura del gas era dovuta al movimento, nell'interno della scatola, delle singole molecole del gas stesso. Ma poiché la scatola rimaneva immobile, egli si soffermò a ragionare che la somma della velocità e direzione delle singole molecole di gas doveva avere un valore uguale a zero.

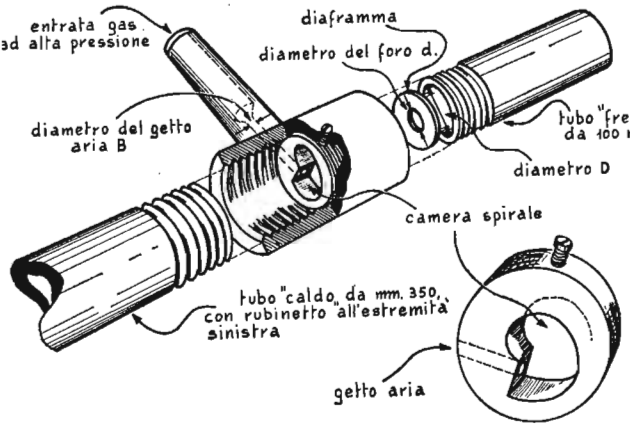
In sostanza, la legge di Maxwell sulla distribuzione casuale può significare che per ogni molecola di gas diretta verso Est alla velocità di 20 chilometri orari, deve esservene sempre un'altra

diretta verso Ovest con la stessa identica velocità e con identico percorso. In più se il calore del gas indica che la velocità media delle molecole è di 20 chilometri all'ora, le molecole che si muovono più lentamente di questa velocità debbono essere nello stesso numero delle molecole che si muovono invece a velocità superiore.

Dopo una serie di analisi delle consequenze possibili di questa sua legge, Maxwell si concesse una battuta di umorismo. Egli suggerì che vi era una probabilità statistica che ad un certo momento, nel futuro, tutte le molecole in una scatola piena di gas od in un bicchiere pieno di acqua calda prenderanno a muoversi nella stessa direzione: ciò avrebbe, come conseguenza, quella del traboccamento dell'acqua fuori dal recipiente. Successivamente Maxwell suggerì che si sarebbe riusciti a fare passare acqua calda o fredda attraverso una stessa tubazione, qualora si fosse catturato un piccolo demone e lo si fosse addestrato ad aprire ed a chiudere una piccola valvola. Il demone avrebbe dovuto aprire la valvola solamente quando una molecola veloce si avvicinava ad essa ed avrebbe invece dovuto chiudere la valvola stessa, per bloccare le molecole più lente. L'acqua uscente dalla valvola sarebbe così stata solamente calda. Per produrre invece un getto di acqua fredda, il demone avrebbe dovuto manovrare la valvola per consentire il passaggio alle sole molecole a movimento lento.

Il demone di Maxwell avrebbe aggirato la legge della termonicamica che in sostanza dice che: « Non si può ottenere alcunché dal nulla ». Il che significa che non è possibile separare l'acqua fredda da quella calda senza compiere un qualche lavoro. Così, quando gli scienziati vennero a conoscenza che i tedeschi avevano sviluppato un dispositivo che poteva produrre delle basse temperature, utilizzando il demone di Maxwell, rimasero sorpresi, sebbene si mantenessero ovviamente scettici. Un fisico indagò in modo diretto su questo argomento, per la Marina degli Stati Uniti, e scoprì che il dispositivo poteva effettivamente esistere e che era assai ingegnoso, sebbene non era quel che di miracoloso che a prima vista era sembrato.

Esso consiste di un complesso di tubi in una disposizione a « T », uniti da un insolito elemento di congiunzione, avente le caratteristiche indicate nella fig. 234. Quando dell'aria compressa



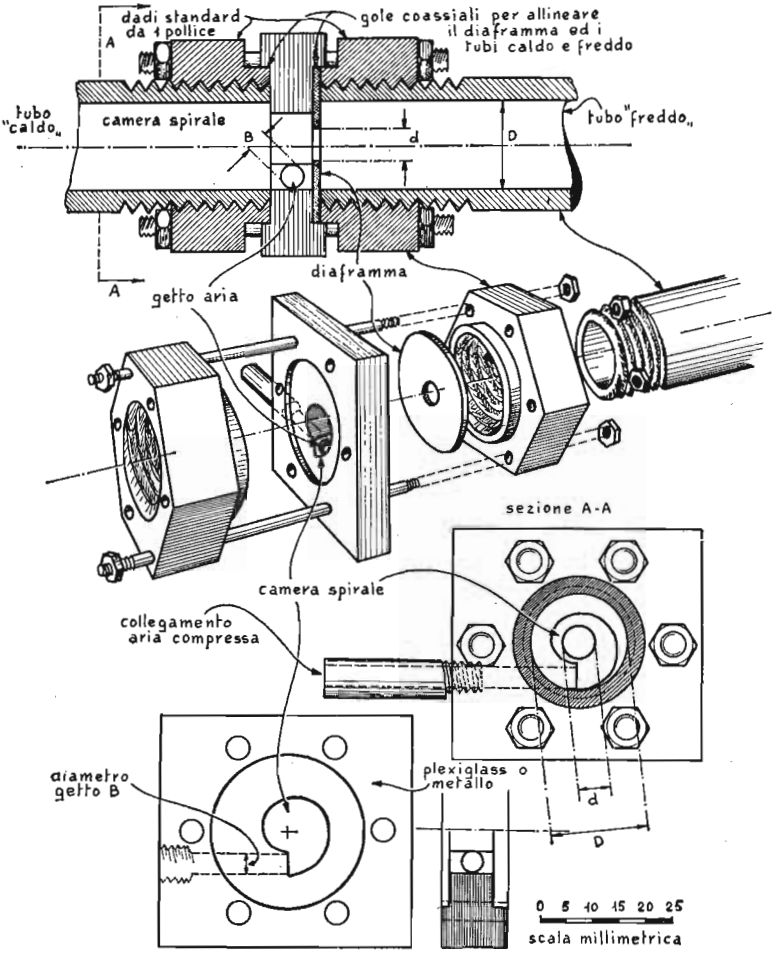
234. Veduta in sezione del tubo di Hilsch, è mostrata la relazione tra la camera a spirale con il tubo di accoppiamento centrale. I dettagli sono *in basso a destra.*

viene fatta passare dal braccio laterale della « T », aria calda esce da un'estremità del giunto mentre all'estremità simmetricamente opposta, esce aria più fredda. Come è ovvio però, occorre una spesa di lavoro, che in questo caso è rappresentata dalla preparazione dell'aria compressa.

L'origine del dispositivo è poco chiara. Il principio su cui esso si basa, si dice sia stato scoperto da un francese che lasciò alcuni prototipi sperimentali sul percorso compiuto dall'esercito germanico, quando la Francia era stata occupata. Questi esemplari vennero portati ad un fisico tedesco chiamato Rudolph Hilsch che stava lavorando sui dispositivi refrigeratori a bassa temperatura necessari per lo sforzo bellico della Germania.

Hilsch apportò delle migliorie al progetto del francese, ma constatò che esso non era più efficiente degli altri metodi convenzionali di refrigerazione nella produzione delle temperature relativamente basse; in conseguenza a queste sue ricerche, l'apparecchio venne chiamato « tubo di Hilsch ».

Questo apparecchio può essere costruito partendo da un paio di dadi alquanto modificati e con poche altre parti associate, visibili nella disposizione della fig. 235. Il braccio orizzontale della



235. Versione del tubo di Hilsch progettato da Roger Hayward di Pasadena, California, in una versione adatta alla costruzione dilettantistica. Notare nel particolare *in basso a destra*, la scala in cm.

giunzione a « T » contiene un pezzo lavorato in modo speciale la cui parte esterna si adatta alla perfezione nell'interno del braccio. L'interno del pezzo però ha una sezione trasversale che ha la forma di spirale rispetto all'esterno. Nel gradino che risulta

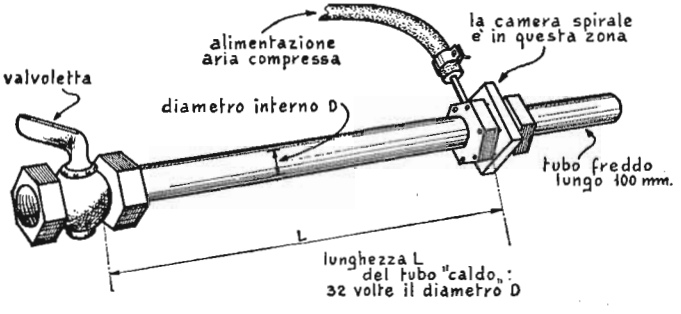
dove le estremità del giro della spirale s'incontrano, si trova un piccolo foro collegato all'elemento centrale della giuntura a « T ».

In tal modo, l'aria fatta entrare attraverso alla conduttura centrale giunge all'apertura affacciata alla spirale e si mette quindi in rotazione seguendo il giro di spirale nella quale sbocca.

Il tubo dell'uscita dell'aria calda ha un diametro interno di mezzo pollice ed una lunghezza di 35 centimetri. L'estremità opposta di questo tubo è munita di una valvoletta che può essere usata per controllare la pressione del sistema, fig. 236.

Il tubo per l'uscita dell'aria fredda ha un diametro uguale a quello dell'aria calda, ma una lunghezza di soli 10 centimetri. L'estremità del tubo che si trova opposta alla spirale non è in diretto contatto con essa, ma separata da una rondella di metallo nel cui centro si trova un foro da 6 millimetri. Da notare che può essere necessario inserire, in questa sede, rondelle con fori di diverso diametro, in modo da potere adattare il sistema alle particolarità del suo comportamento.

Tre sono i fattori che determinano il funzionamento del tubo di Hilsch: la regolazione della valvoletta situata all'estremità del tubo dell'aria calda, la pressione con la quale l'aria stessa viene ammessa all'ugello presente nella spirale e la dimensione del foro della rondella dalla parte del tubo dell'aria fredda. Per ogni valore di pressione dell'aria e di dimensione del foro nella rondella, vi è una regolazione della valvoletta dalla quale risulta una differenza massima della temperatura dell'aria calda e di quella fredda erogate dal sistema, fig. 237.



236. Dimensioni relative dei tubi « freddo » e « caldo » dell'apparecchio di Hilsch.

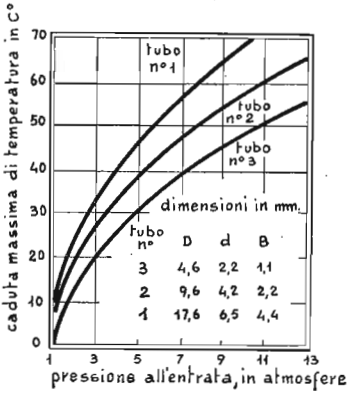
Quando il dispositivo è stato regolato con cura, dal tubo « caldo » verrà erogata dell'aria alla temperatura di circa 30 gradi mentre dal tubo « freddo » verrà erogata aria ad una temperatura di —56 gradi, temperatura questa notevolmente inferiore di quella del punto di congelamento del mercurio e prossima a quella del « ghiaccio secco ».

Quando invece il tubo verrà regolato con l'intento di ottenere una temperatura elevata, dal tubo « caldo » verrà emessa l'aria a circa 140 gradi. Va sottolineato però che pochi dilettanti hanno avuto un pari successo nel conseguire questi risultati massimi. Il maggior numero di essi segnala una temperatura minima di —25 gradi ed una massima di +60 gradi, alla prima prova.

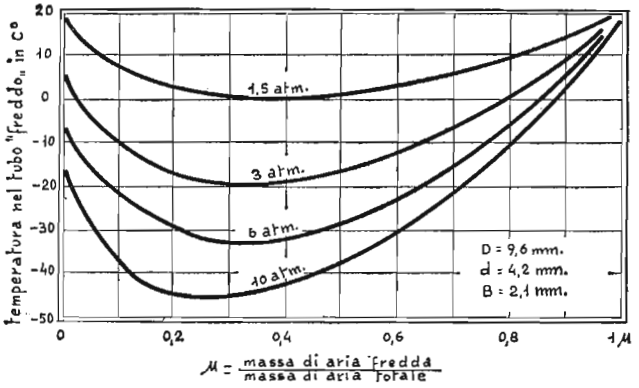
Nonostante queste sue sorprendenti prestazioni, l'efficienza del tubo di Hilsch lascia molto a desiderare; in più, vi sono tutt'ora divergenze sul sistema con il quale esso funziona. Secondo un'ipotesi avanzata, l'aria compressa si proietta nella spirale e vi forma un vortice ad elevata velocità.

Le molecole di aria che si trovano nella zona periferica del vortice stesso possono essere rallentate dall'attrito contro le pareti della spirale, dato poi che queste molecole a lento movimento sono soggette alle regole della forza centrifuga, tendono a raccogliersi verso la zona centrale del vortice.

Le molecole in rapido movimento, appena al disotto dello strato periferico che come si è visto scorre contro le pareti della camera, disperdono parte della loro energia bombardando alcune delle molecole più lente e costringendole ad accelerare.



237. Grafico del funzionamento dell'apparecchio con tre tipi di tubi, secondo una realizzazione di Rudolf Hilsch. Le dimensioni indicate con « D », « d » e « B », si riferiscono alla fig. 238.



238. Grafico del funzionamento e dell'efficienza del tubo di Hilsch, in cui è mostrata l'influenza della regolazione della valvola sul tubo « caldo », a seconda di varie pressioni dell'aria in arrivo.

Il risultato finale di questo processo è quello dell'accumulazione di molecole a bassa velocità ed a basso livello energetico nella zona centrale della massa gassosa ruotante e l'accumularsi invece di molecole ad alta velocità e quindi ad alto livello energetico nella zona periferica del vortice stesso.

Nella termodinamica dei gas poi, il termine « alta energia » e quello di « alta velocità » hanno lo stesso valore del termine « alta temperatura » e viceversa, per cui il vortice consiste di un nucleo di aria fredda circondato da una fascia anulare di aria calda.

La differenza tra la temperatura della zona centrale e quella dello strato periferico anulare viene aumentata poi da un effetto secondario che trae vantaggio dal fatto che la temperatura di una determinata quantità di gas ad un determinato livello di energia termica quando il gas è confinato in uno spazio ristretto, è maggiore di quella che lo stesso ha quando si trova in uno spazio più ampio; in conseguenza, quando ad un gas viene consentito di espandersi, abbiamo l'abbassamento della sua temperatura.

Nel caso del tubo di Hilsch l'effetto della forza centrifuga comprime la fascia anulare calda di gas in una massa compatta che può sfuggire solo scorrendo lungo la parete interna del tubo

« caldo ». Il suo passaggio in direzione del tubo « freddo » è intercettato dalla spalla interna rappresentata dalla rondella.

L'entità della compressione viene determinata con la regolazione della valvoletta situata all'estremità del tubo « caldo ». Al contrario, un nucleo interno, relativamente freddo, che risulta ugualmente al disopra della pressione atmosferica, scorre attraverso il foro della rondella e cade a temperatura ancora minore, allorché si espande alla pressione atmosferica nel suo scorrere verso il tubo « freddo ».

Apparentemente la bassa efficienza del tubo Hilsch come dispositivo per la refrigerazione ha bloccato la sua applicazione pratica e commerciale; nondimeno, quei dilettanti che siano interessati ad un metodo per la produzione di temperature relativamente basse e che non abbiano a disposizione del ghiaccio secco possono provare questo dispositivo di grande utilità.

Se ben costruito, esso permetterà di ottenere un getto di aria venti volte più fredda di quella che si può ottenere permettendo la semplice espansione della stessa aria compressa, attraverso un tubo di Venturi. Per questo il tubo Hilsch potrebbe essere usato per congelare gli specimen da preparare al microtomo per la successiva osservazione microscopica, per raffreddare le cellule fotoelettriche moltiplicatrici, ecc.

Comunque, indipendentemente dalle numerose applicazioni anche potenziali del tubo in qualsiasi sua forma realizzativa, rimane il problema della opportunità di indagare sul famoso piccolo demone di Maxwell, alla ricerca della spiegazione del fenomeno al quale apparentemente prende parte, e da cui deriva l'uscita di aria calda e di aria fredda nello stesso tempo da due condutture apposite.

Incidentalmente va detto che quello descritto non è un apparecchio destinato ad una realizzazione sul piano commerciale, per cui il dispositivo deve essere autocostruito; al massimo, le sue parti vanno affidate per la lavorazione a qualche meccanico della zona, munito di attrezzatura adeguata, quale tornio, fresa, ecc. Va anche precisato che le caratteristiche e le dimensioni fornite negli schemi sono solo approssimate, e vanno prese con la riserva di un loro adattamento finale, in sede di prova, per stabilire quale sia il migliore rapporto esistente tra tutte.

Ai dilettanti cui piace indagare anche sulle possibili varia-

zioni di un progetto di massima, questo dispositivo offre ampia possibilità di ricerca; ad esempio, per l'uso di un ugello divergente, invece che di un ugello diritto, per il getto di aria nella camera a spirale, oppure per la produzione di un vortice più attivo, con l'aiuto delle alette di un rotore statico, per la formazione a « toro » della camera dove si produce il vortice, alla ricerca dell'efficienza, oppure per la realizzazione della camera del vortice a due o più giri della spirale, invece che ad uno solo.

Altro campo di ricerca promettente è poi quello offerto dai rapporti esistenti tra le varie sezioni delle condutture che fanno capo all'apparecchio e quello dell'uso per la preparazione della camera a spirale di un materiale diverso dal metallo quale la plastica poliestere, ecc.

Una spirale può poi anche realizzarsi piegando una striscia di metallo e quindi saldandola tra due flange od anche all'interno di un giunto per tubi; mentre può d'altra parte essere interessante una ricerca intesa ad accertare in quale misura abbia importanza la superficie interna della camera, per cui vale la pena tentare la levigatura speculare delle sue pareti interne.

5

UN INTERFEROMETRO AUTOCOSTRUITO

Vi sono molte specie di ricerche scientifiche e specialmente in ottica, che mettono a profitto il fenomeno ottico grazie al quale le bolle di sapone assumono le loro suggestive colorazioni cangianti e da cui derivano anche i riflessi metallici ugualmente cangianti del piumaggio di qualche uccello. Un'applicazione di questo effetto è rappresentata dall'interferometro, che si può considerare come il più elegante tra gli apparecchi per la misurazione delle lunghezze. Viene qui descritto il principio dell'apparecchio e, nelle pagine seguenti, viene anche fornito un progetto particolarmente adatto per una sua realizzazione da parte dei dilettanti.

Quando due raggi provenienti da una stessa sorgente luminosa cadono incontrandosi in uno stesso punto, dopo avere percorso due strade anche leggermente diverse, le onde elettromagnetiche che le costituiscono si rinforzano o si contrastano a vicenda in modo simile a quanto accade alle onde nell'acqua, quando queste siano in fase oppure fuori fase.

Questo effetto si collega anche al fenomeno per il quale la cutrettola presenta quei riflessi metallici azzurri cangianti del piumaggio, e da cui deriva il ben noto « lampo » delle opali, l'iridescenza della madreperla e delle perle, nonché delle ali di talune farfalle, ed il colore sempre mutevole delle pareti delle bolle di sapone o della schiuma in generale. Eppure, lo stesso fenomeno si collega anche alla precisione degli orologi, al controllo dei missili teleguidati, alla qualità dei migliori carburanti per motori e ad una miriade di altre realizzazioni di tecnologia che sarebbero impossibili ove non fossero disponibili dei campioni sufficientemente esatti delle unità di misura.

Tutte le misurazioni, in ultima analisi, dipendono da una

dimensione standard, vale a dire dalla lunghezza. Attualmente, anche la lunghezza dello stesso metro è ormai calibrata in termini di lunghezze di onda della luce. La dimensione standard, più diffusamente accettata per la determinazione della lunghezza del metro, è oggi la lunghezza d'onda della luce rossa emessa dal cadmio incandescente, allo stato di vapore.

Con metodi interferometrici questa lunghezza d'onda è stata misurata ed è risultata di 6438,4696 Angstrom con una tolleranza, in più od in meno, di appena 0,0009 Angström. L'Angström rappresenta una dimensione pari ad un decimillesimo di millimetro. Il metro lineare viene quindi a risultare pari a 1.553.164,60 volte la lunghezza d'onda della citata luce rossa.

L'interferometro, ossia il più elegante tra gli strumenti per la misurazione di lunghezze lineari, è un congegno insolitamente irrivelante e deludente. Una volta uno scienziato notava: « Senza alcun dubbio, l'interferometro ed in particolar modo quello della versione ideata da Michelson è uno degli strumenti più meravigliosi a disposizione della scienza, specie quando esso viene usato dallo stesso Michelson ».

In effetti, nelle mani di Michelson lo strumento stabilì certo una impressionante serie di punti scientifici di riferimento: era stato egli stesso, ad esempio, a misurare la lunghezza d'onda della linea rossa del cadmio, citata più sopra.

Non è facile impresa quella di eseguire misurazioni con strumenti capaci di offrire livelli di precisione di questo ordine. Qualcuno può indugiare attorno agli elementi di controllo di un interferometro, per diverse ore, senza vedere nulla che possa far pensare alle frange od alle bande di luce interferenti, che servono come graduazioni in fatto di lunghezza.

Nessun dilettante potrebbe sognare di costruire un tale apparecchio principalmente per lo scopo di utilizzarlo come strumento per le misurazioni più correnti; comunque, dalla costruzione di un tale apparecchio e dalla padronanza per il suo uso, il dilettante stesso può apprendere molti elementi in ordine all'ottica, come anche sulle tecniche più adatte per la esecuzione di misurazioni di precisione, arte questa che rappresenta uno dei fondamenti più solidi per il progresso di qualsiasi ricerca scientifica.

È possibile stabilire i primi contatti con i concetti della in-

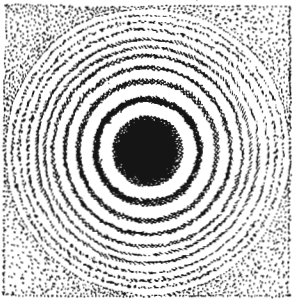
terferenza riproducendo l'esperimento condotto per primo da Isacco Newton che dimostra anzi il suo principio fondamentale. Si tratta semplicemente di premere una lente da occhiali contro una lastrina di vetro piano, regolarissimo, e quindi guardare direttamente la luce proveniente da una fonte luminosa e riflessa dal complesso dei due vetri.

Se si fa uso di una lente di ingrandimento, sarà possibile osservare parecchi anelli concentrici, dotati ciascuno di tutta la gamma dei colori dell'iride, che circondano un punto nero del diametro di 0,3 o 0,4 millimetri corrispondente alla zona nella quale la parte più sporgente della lente da occhiali risulta in contatto con la superficie del vetro.

Lo stesso effetto si può anche osservare con due pezzi di lastrina di vetro ordinario: dato infatti che questi vetri non sono perfettamente piani, ma presentano delle irregolarità sulle superfici, sarà possibile notare, in diversi punti delle superfici, diverse frange di colore, iridate, che circondano concentricamente diversi punti neri corrispondenti alle zone nelle quali i due vetri risultano effettivamente in contatto.

Lo schema delle frange risulta più evidente se invece della normale luce bianca, per l'illuminazione dell'esperimento si sia fatto uso di luce monocromatica, quale quella gialla prodotta da un bruciatore a gas, quando nella sua fiamma viene inserita una bacchetta di vetro al sodio.

Se durante l'esperimento le due lastrine sono premute con uniformità si può osservare una leggera variazione della conformazione delle frange ed eventualmente un aumento della spaziatura tra le varie frange concentriche, conseguenze entrambe derivate dall'intervenire di piccole variazioni di distanza esistenti



239. Anelli di Newton, visti ponendo una lente convessa da occhiali su di una lastra di vetro. Gli anelli sono notevolmente ingranditi per chiarezza, in questa illustrazione.

tra i vari punti delle due lastre di vetro, dove queste non sono in contatto.

Thomas Young, fisico inglese, ed il suo collega francese Augustin Fresnel dimostrarono verso la fine del XVIII secolo il perché della comparsa delle frange di interferenza; nel fare questo, poi, essi stabilirono anche l'effettiva natura ondulatoria della luce.

Essi spiegarono che se due raggi di luce emessi dalla stessa fonte raggiungono superfici riflettenti a diversa distanza dalla sorgente, le due serie di onde finiranno leggermente fuori fase, per il fatto che una di queste avrà viaggiato per un percorso maggiore dell'altra.

Accade allora che quando il nodo di una di queste onde si incrocia con il ventre dell'altra, le due onde si interferiscono, danneggiandosi a vicenda così che la luce risultante riflessa ne rimane notevolmente ridotta di intensità, se non del tutto annullata.

Da punti di osservazione situati ad angoli diversi, la distanza apparente tra le due superfici potrà risultare maggiore o minore e da ciò potrà derivare una maggiore o minore attenuazione della luce riflessa nelle zone tra le varie frange. L'energia totale della luce incidente risulta invariata anche dopo le interferenze; ne deriva che la posizione delle frange rispetto alle superfici riflettenti, sembra variare quando l'osservatore muove la testa, oppure varia leggerissimamente la inclinazione della coppia di lastrine.

Similmente, la posizione apparente delle frange dipende dalla lunghezza delle onde luminose. Le onde lunghe della luce rossa possono sembrare annullarsi in una certa zona mentre le onde molto più corte corrispondenti alla luce blu possono risultare accentuate. In quel caso la zona apparirà blu, sebbene la sorgente luminosa emette, al tempo stesso, una miscela di onde corte e lunghe.

Se la sorgente luminosa è rappresentata da una luce bianca, composta da una miscela di diversissime lunghezze di onda, taluni dei colori possono risultare annullati mentre altri possono apparire rinforzati, quando sono osservati con un determinato angolo rispetto al piano dei vetrini, con il risultato che le frange presentano tutte le tonalità dell'arcobaleno.

Variazioni similari nella distanza tra le superfici riflettenti

causano lo spostamento delle frange, proprio come se fosse stato l'occhio dell'osservatore a spostarsi; è per questo che le frange si muovono quando viene applicata una sufficiente pressione determinando così la curvatura delle lastrine non in contatto perfetto, per variare le dimensioni dello spazio compreso tra di esse nei vari punti.

Un altro interessante e semplice esperimento consiste nel prendere un pezzetto di lastrina di vetro, a superficie ottica, ossia rettificata e nel posarla su di un altro pezzetto di vetro ugualmente rettificato permettendo però il contatto, non su tutta la superficie, ma su uno solo dei lati del rettangolo; in questo modo si determina la formazione di un cuneo di aria tra le due lastrine.

Quando questa disposizione viene osservata sotto l'illuminazione di una luce gialla, le frange di interferenza appaiono come se fossero delle strisce di colore giallo, separate da strisce oscure, che attraversano le lastrine con andamento parallelo alla linea di contatto tra i due vetrini.

Il numero di strisce gialle che è possibile osservare è uguale alla metà del numero delle lunghezze d'onda corrispondenti al tratto da cui sono separati i due vetrini, proprio alla base del cuneo. Quando la striscia di carta che era stata inserita nel punto di contatto sarà stata rimossa e così le due lastrine potranno essere portate lentamente in contatto alla base, le frange scorreranno verso il basso del cuneo e scompariranno alla sua base, mentre le frange rimanenti assumeranno via via una larghezza maggiore. Scegliendo per questo esperimento delle lastre di vetro abbastanza grandi, è possibile produrre un movimento delle frange di molti centimetri, per ogni unità di lunghezza di onda della variazione di distanza dei vetri alla base. Una versione dell'interferometro viene appunto basata su questo interessantissimo principio.

In breve, ogni variazione che modifica la lunghezza relativa del tratto percorso da due raggi interferenti causa la variazione della posizione delle frange risultanti da questa interferenza.

Anche una variazione della velocità di ciascuno dei raggi ha un effetto similare, in quanto il raggio reso più lento giungerà più tardi di quello più veloce ad un punto distante, proprio come se avesse percorso un tratto più lungo.

Qualsiasi mezzo materiale attraversato dalla luce ne determina un rallentamento rispetto alla velocità che la luce stessa avrebbe nello spostarsi nel vuoto perfetto. L'aria al livello del mare determina una riduzione della velocità della luce nella misura di 88 chilometri orari, e da tale fenomeno le onde luminose più corte risultano rallentate in misura maggiore di quelle più lunghe.

Se due raggi interferenti stanno spostandosi in due contenitori diversi, entrambi vuoti di aria, ed in uno dei contenitori viene consentito poi l'afflusso di un poco di aria si potrà notare lo scorrimento delle frange prodotte, proprio come se il percorso del raggio passante nel recipiente dove è stata ammessa dell'aria fosse stato più lungo dell'altro.

Dal movimento delle frange è possibile determinare, a mezzo di semplici calcoli aritmetici, la misura della quale la velocità è stata ridotta. Il rapporto della velocità della luce attraverso il vuoto rispetto alla velocità attraverso ad un mezzo trasparente viene chiamato indice di rifrazione della sostanza stessa.

L'interferometro è uno strumento comodo per la misurazione degli indici di rifrazione dei liquidi e dei gas, caratteristica questa che specie nel caso dei gas sarebbe abbastanza difficile da determinare altrimenti.

Eric F. Cave, fisico presso l'Università del Missouri, ha progettato un semplice interferometro che serve a dimostrare molti di questi effetti interessanti e che permette ai dilettanti di ottica di misurare la lunghezza di onda della luce. Con adatte modifiche, lo strumento può essere usato per la realizzazione di esempi standard di unità di misura per la lunghezza, per la misurazione degli indici di rifrazione e per la determinazione dei coefficienti di espansione.

E. F. Cave descrive la costruzione di un interferometro che porta il suo stesso nome

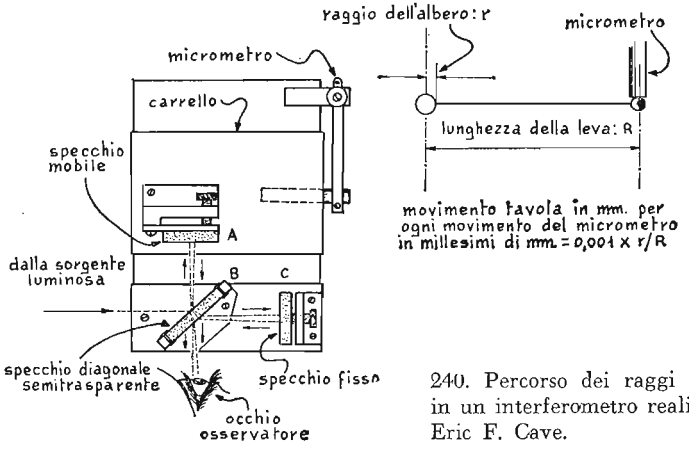
Il progetto qui esposto vuole essere soprattutto una guida; la maggior parte dei dilettanti saranno ben presto in grado di costruire i loro strumenti, una volta che il principio fondamentale su cui essi si fondano sarà stato compreso bene. Ottica-

mente la disposizione è simile a quella ideata da Michelson: un raggio luminoso, possibilmente del tipo monocromatico, vien fatto cadere su di una lastra di vetro che sta con una inclinazione di 45 gradi rispetto alla fonte stessa; tale lastra serve da separatrice del fascio luminoso.

Parte della luce della sorgente passa attraverso alla lastrina e questa porzione avanza sino ad uno specchio fisso distante alcuni centimetri, da cui è riflessa indietro alla lastrina diagonale. La parte restante della luce originaria è riflessa dalla superficie della lastra diagonale, ad un angolo retto rispetto alla sorgente luminosa. Essa quindi scorre sino ad uno specchio orientabile, situato ad una distanza rispetto alla lastra diagonale pari a quella a cui si trova, dalla stessa, lo specchio fisso; anche questa luce viene riflessa indietro alla lastra. Parte di questo nuovo raggio passa attraverso la lastrina e raggiunge l'occhio dell'osservatore che sosta dietro ad essa.

Qui giunto, si incontra con la parte dei raggi che era stata rimandata dallo specchio fisso, v. percorso ottico fig. 240.

Regolando le posizioni e gli angoli dei due specchi in relazione alla lastra diagonale, è possibile creare l'illusione che lo specchio fisso occupi il piano di quello mobile. Similmente, regolando leggermente l'angolo di entrambi gli specchi, è possibile creare l'effetto ottico di un sottile cuneo compreso tra i due specchi.



240. Percorso dei raggi luminosi in un interferometro realizzato da Eric F. Cave.

Appariranno allora delle frange di interferenza come se le due superfici riflettenti degli specchi fossero effettivamente in contatto fisico tra di loro lungo uno dei lati e fossero invece spaziati in misura minima sul lato opposto. Una variazione nella posizione dello specchio mobile in direzione della lastrina diagonale od in direzione opposta a questa può essere osservata sotto forma di un movimento assai accentuato delle frange che si sono prodotte.

I principianti possono aspettarsi di dovere dedicare molto tempo attorno a questo strumento nella fase della messa a punto. Una costruzione accurata e precisa in partenza servirà ottimamente a minimizzare qualsiasi difficoltà in seguito.

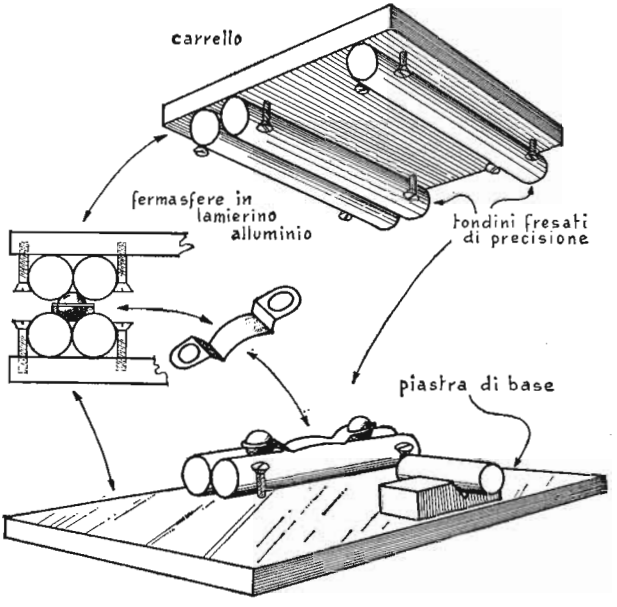
La base dell'apparecchio può essere realizzata con qualsiasi metallo, per quanto i dilettanti che non abbiano possibilità di far capo ad un'officina attrezzata sono consigliati di orientarsi verso un blocco di acciaio tenero, fatto tagliare alla dimensione voluta dallo stesso venditore. Lo strumento può essere realizzato con qualsiasi dimensione che risulti la più conveniente.

La base dell'apparecchio da me costruito ha una lunghezza di 22,5 ed una larghezza di 35 centimetri; in più occorrono anche altri due blocchi dello stesso metallo, di pari spessore e larghezza, ma della lunghezza di soli 9 centimetri circa. Questi due elementi diverranno, rispettivamente, il carrello per sostenere lo specchio mobile e la tavola sulla quale sono montati la lastrina diagonale di vetro e lo specchio fisso.

Il carrello viene fatto muovere su guide consistenti di pezzetti di tondino fissati alla sua faccia inferiore, fig. 241. Tali guide in tondino possono essere acquistate allo stesso momento dell'acquisto dell'acciaio per la realizzazione della base e degli altri elementi.

Ogni guida, in particolare, consiste di pezzetti di tondino di cui una serie viene collegata al carrello e l'altra alla base. Il fissaggio di questi tondini può essere fatto con un notevole assortimento di sistemi; personalmente ho provveduto al fissaggio di essi in una scanalatura, fatta aprire con la fresa.

In mancanza di una fresa o di altro utensile simile, anche delle viti a testa larga munite magari di rondelle possono andare altrettanto bene per bloccare, uno contro l'altro, i tondini di ciascuna delle coppie.



241. Dettagli del complesso del carrello per l'interferometro.

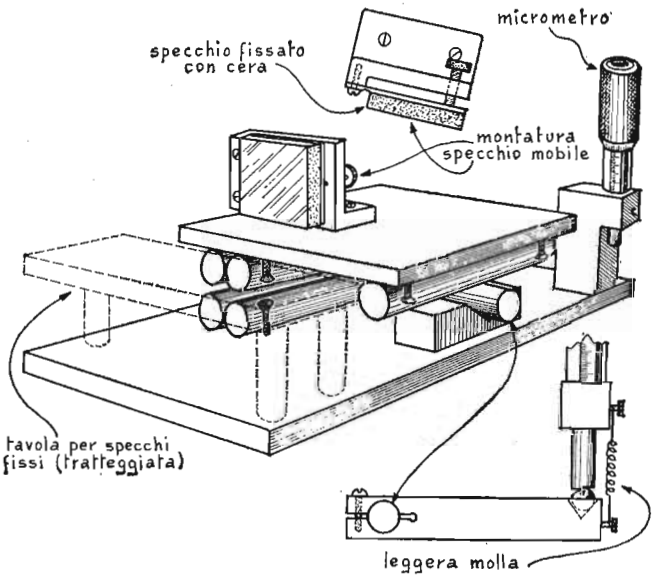
Il supporto per l'albero di comando può essere rappresentato da un blocco di metallo nel quale sia stata praticata una scanalatura a « V ». In assenza di un'attrezzatura ed ove non si voglia avvalersi dell'opera di qualche meccanico, si possono eseguire nella base quattro fori ciechi poco profondi, che servano da alloggiamento per altrettante sferette di acciaio: in tal caso, l'albero viene semplicemente lasciato ruotare tra le due serie di sfere.

L'altezza del blocco o dei supporti a sfere deve essere scelta in modo che la sommità del carrello risulti in parallelo con il piano superiore della base, quando l'apparecchio sarà stato montato. Le guide si muovono su due sfere di acciaio munite di uno spaziatore realizzato in alluminio nella maniera illustrata e simile, come si vede, a quelli che tengono uniformemente spaziate le sferette dei cuscinetti. Nel funzionamento, il carrello vien spostato in avanti ed indietro ruotando l'alberino di pilotaggio.

Esso può essere ruotato sia con un sistema a vite senza fine ed ingranaggio, come anche con il sistema della vite tangente. Quest'ultimo sistema consiste di una vite che preme contro un supporto montato su di un braccio di leva, l'altra estremità della quale è collegata all'albero, fig. 242. Una vite tangente permette solo un piccolo tratto di avanzamento continuo ma risulta molto meno costoso del sistema con vite senza fine ed ingranaggio.

Il braccio della leva dovrebbe avere la sezione trasversale di forma rettangolare; ad un'estremità di esso va eseguito il foro per l'albero, aperto con un taglio nel modo indicato e quindi munito di una vite di serraggio in modo da formare una specie di morsetto. All'estremità opposta deve essere aperto un foro cieco poco profondo, destinato ad accogliere la sferetta di acciaio nella funzione di bronzina.

La vite di comando può essere rappresentata dal meccanismo di un micrometro per meccanici, montato su di una staffa



242. Dettagli del complesso di base dell'interferometro, per mettere in evidenza la leva di trasferimento del carrello, mossa dal micrometro.

nel modo illustrato. Il supporto a sfera viene tenuto in stretto contatto con il micrometro per mezzo della molla di trazione. La lunghezza della leva ed il diametro dell'albero di comando determinano la misura nella quale il carrello si muoverà in conseguenza della rotazione del micrometro.

Dovrebbe essere possibile il controllo uniforme e regolare del movimento della tavola per distanze di almeno una volta la lunghezza d'onda della luce sulla quale si stanno facendo le prove; da tenere presente ad esempio che la lunghezza d'onda della luce gialla, quale quella emessa dal sodio incandescente, è dell'ordine di 5800 Angström. La vite tangente deve pertanto assicurare una riduzione geometrica del movimento, sino a distanze di quest'ordine.

Quando il micrometro da meccanico viene fatto girare per un tratto corrispondente ad una divisione, la vite sposta l'estremità esterna del braccio della leva di circa 25 millesimi di millimetro; regolando la lunghezza effettiva del braccio della leva (ossia la distanza tra il centro della sfera che fa da supporto al disotto della vite ed il centro dell'albero) rispetto al raggio dell'albero, il movimento relativo del carrello può essere ridotto in qualsiasi proporzione si desideri.

La riduzione è comunque uguale al raggio dell'albero diviso per l'effettiva lunghezza del braccio della leva. Per questo, un braccio della lunghezza di 25 centimetri collegato con un albero di 6 millimetri, riesce ad offrire una riduzione pari ad 80: 1 ed un giro di una divisione del micrometro produce uno spostamento del carrello di 0,0003235 millimetri.

La qualità delle parti ottiche usate nell'apparecchio determina in misura massima l'attendibilità dei risultati e la gamma degli esperimenti fattibili, in vista anche dell'aggiunta di altri elementi o dell'apporto successivo di modifiche. I costruttori molto pratici di telescopi preferiscono, ad esempio, molare da sé e quindi rettificare le tre superfici piane necessarie, vale a dire i due vetrini da trasformare in specchi e quello da usare come deviatore di parte dei raggi; in tale caso i costruttori possono chiedere ad un fornitore della zona alcune lastrine del vetro « ottico » o, nella peggiore delle ipotesi, del vetro da lastre fotografiche. È infatti essenziale che la regolarità delle superfici ottiche sia tale da risultare con una tolleranza inferiore alla de-

cima parte della lunghezza di onda della luce che si intende usare per le ricerche, per l'insorgenza di moleste frange di colore e di dannose distorsioni.

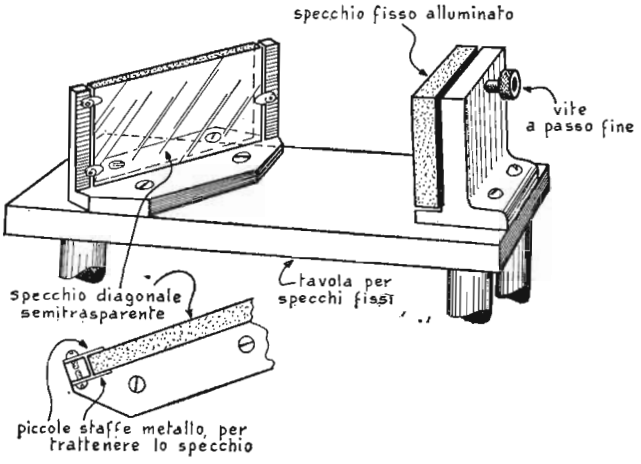
Qualsiasi testo hobbistico o professionale relativo alla lavorazione delle parti ottiche può essere consultato in ordine alle prove da effettuare per accertare il grado di precisione con la quale siano state preparate le tre superfici ottiche che interessano.

Se lo strumento deve essere usato per la prova di lenti, specchi, prismi ed altri componenti di ottica, le facce delle lastrine di vetro dovrebbero essere rigorosamente parallele una all'altra. Sia lo specchio fisso come quello mobile debbono poi essere argentati o meglio alluminati sulla prima superficie, anche se questo rende necessaria la frequente ripetizione della metallizzazione; in più, perché i risultati ottenuti siano i migliori, occorre che anche la superficie frontale del vetrino destinato ad essere montato in posizione diagonale, sia leggermente argentata, in modo che possa riflettere un quantitativo maggiore di luce di quanto non farebbe in mancanza di questa argentatura e ne faccia quindi passare un minore quantitativo, così che i due raggi che giungono all'occhio dello sperimentatore siano sostanzialmente della stessa intensità.

Delle staffe di supporto debbono sostenere gli elementi ottici in posizione perpendicolare al piano della base al termine del montaggio. Tali elementi dovrebbero anche assicurare qualche mezzo per la regolazione estremamente fine della posizione angolare degli specchi rispetto agli assi orizzontali e verticali. Nella fig. 243, lo specchio mobile è montato su di un supporto di cera ma una tale soluzione non è adatta che per una presentazione iniziale, specialmente quando accada che l'elemento di supporto sia soggetto a flessioni.

La lastrina diagonale di vetro semiargentato e lo specchio fisso sono montati su di una tavola rettangolare fissata alla base e sono disposti in maniera che il centro del fascio di luce proveniente dalla sorgente colpisca il centro della lastrina diagonale e venga da questa riflesso ad angoli retti in direzione dello specchio mobile.

Se si vuole che lo strumento funzioni perfettamente, occorre che siano soddisfatte due importanti condizioni. La luce deve avere origine da una sorgente piuttosto grande, situata alla di-



243. Dettagli del deviatore del raggio dell'interferometro e gruppo dello specchio fisso.

stanza di diversi metri e deve essere di preferenza monocromatica.

La fiamma gialla ottenuta dalla bacchetta di vetro inserita nella fiamma del bruciatore Bunsen non può considerarsi rigorosamente monocromatica, in quanto gran parte della luce deriva dalla serie spettrale del sodio, ma essa risulta ugualmente sufficiente per le prime dimostrazioni da condurre con lo strumento.

Quando lo strumento viene messo in funzione deve stare su di un supporto solido, rigido ed esente da qualsiasi vibrazione. Lo specchio mobile viene sistemato con la massima precisione possibile alla stessa distanza rispetto al vetrino diagonale alla quale si trova da questo lo specchio fisso.

A questo punto vengono poi fatte delle regolazioni preliminari con l'aiuto di una sorgente puntiforme di luce, quale ad esempio il punto luminoso riflesso da una sferetta di acciaio perfettamente lucidata, del diametro di 1,5 millimetri disposta alla distanza di 3 metri dallo strumento; questa sferetta, poi, trattenuta su di un supporto di carta nera o meglio di velluto nero,

deve essere illuminata dal fascio concentrato di un proiettore con lampada della potenza di 2 o 300 watt.

La sferetta deve risultare alla destra dell'osservatore quando questi sia rivolto in direzione dello specchio mobile ed in linea con il centro del vetrino diagonale e lo specchio fisso. Quando si guarda allo specchio mobile attraverso il vetrino diagonale, deve accadere di osservare al tempo stesso due immagini del punto luminoso: a questo punto si tratta di correggere con la massima precisione, gli angoli dei due specchi, per mezzo delle viti micrometriche di regolazione, sino a fare in modo che queste due immagini della sferetta coincidano in una sola.

A questo punto si sostituisce alla sorgente puntiforme rappresentata dalla sferetta di acciaio la luce del sodio. Se le distanze tra ciascuno degli specchi ed il vetrino diagonale (intendendosi il punto centrale di questo) sono esattamente uguali, si dovrebbe vedere un certo numero di cerchi concentrici arancioni e neri, simili per intenderci a quelli di un bersaglio per tiro a segno.

Il colore arancione risulta il segno caratteristico della coppia di linee del sodio, mentre i cerchi neri indicano le zone dove avviene l'interferenza tra i fasci riflessi dai due specchi e le energie dei due fasci si annullano a vicenda. Non è comunque mai abbastanza raccomandata la massima pazienza nel corso di queste regolazioni, in quanto l'intero campo di queste ricerche va affrontato con una precisione estrema.

Per misurare la lunghezza d'onda della luce gialla del sodio, si annota dapprima l'esatta posizione del micrometro e quindi si ruota questo lentamente mentre si conta il numero di volte in cui il centro del bersaglio a cerchi concentrici cambia colore dall'arancione al nero e dal nero nuovamente all'arancione.

Si tiene presente che ogni volta che abbiamo avuto uno spostamento in cui il segno centrale da nero è divenuto arancione, possiamo dire che lo spostamento determinato è stato quello di un quarto di lunghezza d'onda. Immaginiamo di dovere rilevare nella rotazione del micrometro, 100 volte il cambiamento da arancione a nero e 100 volte il cambiamento inverso, ossia in tutto 200 cambiamenti di colore: ciò significherà che lo spostamento totale eseguito nel frattempo sarà di 200 volte un

quarto di lunghezza d'onda, vale a dire di 50 volte la lunghezza d'onda.

Si immobilizza il micrometro in questa posizione e si effettua su di esso una nuova lettura. Poi, dal valore rilevato questa volta, si sottrae il valore della lettura fatta sul micrometro all'inizio della prova. La differenza così trovata, una volta che viene divisa per la riduzione geometrica determinata dalla vite tangente presente per la demoltiplica, equivale ad uno spostamento del carrello di un tratto pari a 50 volte la lunghezza d'onda.

In effetti però si sta operando non con una linea ma con la coppia delle linee di emissione del sodio, di cui una misura 0,0005797 millimetri e l'altra invece misura 0,0005803 millimetri, per questo il valore indicato dallo strumento è quello corrispondente alla media tra le due lunghezze effettive, vale a dire il valore di 0,0005755 millimetri.

Il fatto che si tratti di luce monocromatica, composta da radiazioni aventi due lunghezze di onda molto vicine, può essere la causa di un contrasto poco sensibile tra le zone arancioni e quelle nere dell'immagine, quando il carrello si trova in talune posizioni di regolazione. Un leggerissimo spostamento del carrello da queste posizioni riuscirà di solito ad assicurare un contrasto assai migliore.

Il progetto descritto è destinato specialmente ad accendere nei dilettanti un primo interesse per l'interferometria: lo strumento e le tecniche qui discusse non sono altro che una semplice introduzione all'argomento. Prima che lo strumento possa fornire dei risultati comparabili con quelli ottenuti da Michelson occorre anche una vera luce monocromatica, quale quella rappresentata dalla linea rossa del cadmio.

Gli strumenti più perfezionati di questo tipo comprendono anche uno o più piccoli telescopi, destinati a migliorare le possibilità di osservazione delle frange; in più, Michelson inserì anche una seconda lastrina diagonale di vetro nel percorso dei raggi luminosi compreso tra la prima lastrina e lo specchio mobile.

Questa seconda lastrina viene lasciata senza alcuna argentatura ma per tutto il resto essa è identica alla prima diagonale. Questa lastrina ha lo scopo di eguagliare lo spessore dello strato

di vetro attraversato dai due raggi di luce ed impedisce che per le differenze di questo spessore, e quindi di assorbimento, le onde possano essere ritardate in misura diversa introducendo, nei rilevamenti fatti, una molesta causa di errori.

Gli interferometri possono essere muniti di accessori adatti alla misurazione di costanti fisiche nei solidi, nei liquidi e nei gas. Dei contenitori di vetro, purché aventi le facce opposte perfettamente regolari, piane e parallele, possono essere inseriti nel processo dei raggi. Quando l'aria che si trova nel contenitore attraversato da uno dei raggi viene lentamente sostituita con un altro gas, si può in genere notare lo spostamento della serie di frange proprio come se si fosse invece variata la regolazione del carrello dello strumento: con un semplice calcolo si può quindi facilmente risalire all'indice di rifrazione del gas introdotto.

Il coefficiente di espansione di un solido, rispetto alle variazioni di temperatura, può essere determinato bloccando il campione, munito di un termometro, su di un tavolo apposito, inserito tra il carrello e la base dello strumento. Un conteggio delle frange viene allora adattato sempre in considerazione del fatto che ogni cambiamento di colore del centro della figura composta di cerchi concentrici, equivale ad uno spostamento di un tratto pari ad un quarto della lunghezza di onda della luce usata per l'illuminazione del sistema.

Questa informazione della variazione della dimensione del blocco, rapportata alla variazione della temperatura rilevata dal termometro, permette allo sperimentatore di risalire con facilità al coefficiente della espansione del materiale in esame, e nella gamma di temperature esplorate.

6

COSTRUZIONE DI UN OROLOGIO PIEZOELETTRICO

Quando si collega ad un adatto circuito elettronico una sottile lamina ritagliata da quarzo allo stato cristallino entra in una particolare vibrazione di regolarità estrema, a causa del ben noto effetto piezoelettrico che si manifesta su di esso. In più tale lamina riesce anche a controllare la frequenza della stessa oscillazione che la eccita. Ne deriva che quando si alimenta un orologio elettrico con una corrente alternata ad una frequenza così bene stabilizzata, esso funzionerà perfettamente. W. W. Withrow, radiodilettante di Teague, nel Texas, spiega come costruire e fare funzionare un tale apparato.

Come la maggior parte dei dilettanti aventi qualche hobby scientifico, specialmente in quei campi che hanno a che fare con la fisica, anche io ho desiderato, per lungo tempo, di possedere un buon orologio. I normali orologi elettrici vanno bene per la maggior parte delle funzioni e quasi ognuno sa che essi mantengono una buona regolarità e precisione.

Ma viene da chiedersi se questo sia effettivamente vero: la precisione degli orologi elettrici dipende in massima parte dall'attenzione messa dall'operatore della stazione generatrice di energia elettrica che serve la zona per fare in modo che l'energia erogata mantenga una frequenza rigorosamente costante.

Nella città del Texas dove abito esiste, è vero, un'eccellente centrale elettrica ma i suoi operatori possono fare ben poco per mantenere la frequenza nei ristretti limiti dovuti quando la energia da questa prodotta entra in una rete di smistamento, in cui entrano molte altre centrali situate spesso in località molto

lontane, funzionanti magari anche con diversi sistemi, talune delle quali termoelettriche, altre idroelettriche e così via, che è ben difficile tenere in perfetto sincronismo.

Ho pertanto potuto constatare che orologi elettrici installati in altre città, per quanto avviati al mattino contemporaneamente con lo stesso orario, danno indicazioni differenti perfino di alcuni minuti, quando alimentati da altre centrali.

Perfino il mio orologio confrontato con altri strumenti di maggiore precisione presentava derive sino a due minuti, che però non risultavano costanti ogni giorno; questo significava che non avevano origine nel sistema meccanico elettrico dello strumento, ma piuttosto nelle differenze dell'alimentazione.

Il principale elemento in un qualsiasi apparecchio per la scansione del tempo, è quello che in effetti conteggia in vario modo le unità di tempo stesso: può trattarsi di un dispositivo elettronico, come nel caso dell'orologio ad assorbimento nelle molecole di gas; può essere semplicemente meccanico come nel caso degli orologi a pendolo; può ancora essere una combinazione di questi due dispositivi come nel caso dell'orologio di Marrison od a cristallo piezoelettrico.

In ognuno dei tre casi deve esservi qualche elemento risonante che possieda un periodo di vibrazione naturale altamente costante, che possa essere collegato ad un indicatore quale, di solito, il quadrante dell'orologio, con il sistema di lancette, precedute dalle necessarie leve e dagli opportuni ingranaggi. In ogni caso, l'obbiettivo è quello dell'indicazione del trascorrere del tempo in relazione ad un punto arbitrario di partenza, quale l'ora 0,00 del tempo medio di Greenwich.

Quando viene alimentata con gli impulsi elettrici prodotti da un oscillatore a valvola elettronica, un cristallo di quarzo opportunamente tagliato e montato entra in una vibrazione continua ad un regime molto rapido e di una notevole costanza.

Sapevo che l'Ufficio Nazionale degli Standards impiega come campione un orologio a cristallo piezoelettrico, ma avevo scartata l'idea di realizzare una versione o copia di tale strumento, per il fatto che la parte meccanica dell'orologio del citato ufficio è azionato da un motore elettrico, a corrente alternata, alla frequenza di 1000 cicli al secondo. La disponibilità di orologi elettrici dovunque reperibili invece, si riferisce esclusivamente a

strumenti alimentabili con l'alternata alla frequenza di rete, vale a dire a 60 periodi.

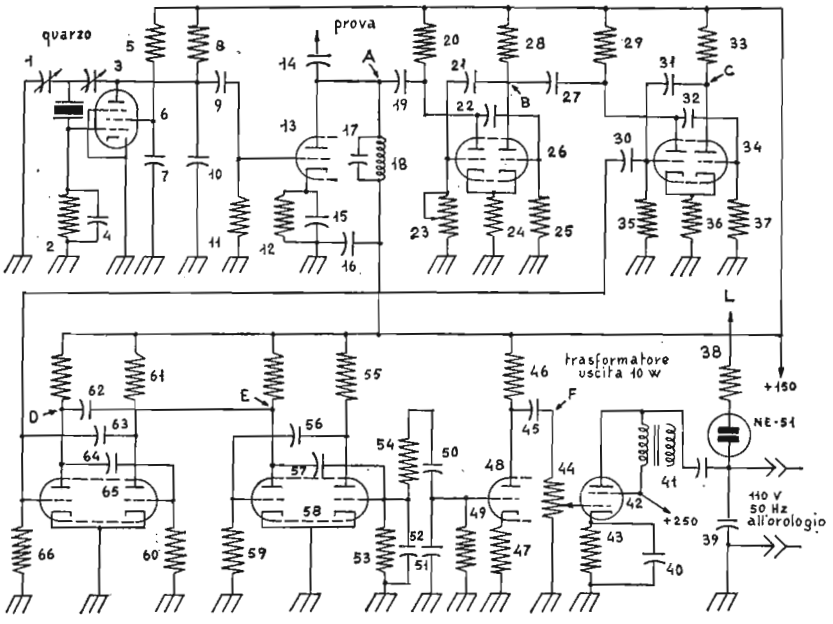
In più era mio desiderio quello di un orologio di buone prestazioni e non volevo rinunciare all'idea di un orologio piezoelettrico, forse per il fatto che l'elettronica rappresenta la materia ed il mezzo che riesce a tenere collegata insieme la maggior parte dei progetti da me studiati e realizzati, siano essi direttamente o no interessati all'elettronica.

Decisi pertanto di tentare una versione semplificata dell'orologio di Marrison, usando un cristallo di quarzo tagliato per risonare alla frequenza di 120 chilocicli al secondo, senza la complicazione necessaria di una camera termostatica per il mantenimento della temperatura costante, e senza la necessità dell'orologio con meccanismo azionato dal motore a 1000 cicli.

La frequenza di 120.000 cicli generata e stabilizzata dal cristallo doveva essere divisa sino ad essere portata al valore dei 60 cicli al secondo, adatta per l'azionamento del motore, il che era comunque facile da ottenere con una serie in cascata dei ben noti circuiti detti multivibratori e quindi amplificata nella sua potenza, sino a raggiungere un livello sufficiente per azionare il meccanismo dell'orologio.

Eccezion fatta per il cristallo di quarzo, l'orologio elettronico prevede, per la sua realizzazione, soltanto parti acquistabili nei negozi di materiale radio, in quanto usate nei normali apparecchi radio e televisivi ammesso poi che molte parti non si trovino addirittura nel cassetto del materiale di ricupero sempre così pieno nel laboratorio di qualsiasi dilettante di elettronica e radiotecnica; occorre naturalmente un orologio elettrico di ottima marca e che sia in grado di assicurare dal suo canto una adeguata precisione.

Il cristallo è stato ordinato ad una ditta che inserisce le sue pubblicità nelle riviste di radiotecnica e che è appunto specializzata per la produzione di cristalli di quarzo di serie, di qualsiasi genere, oltre che di cristalli su ordinazione per usi speciali. In genere, il cristallo viene fornito da questa ditta, come da qualsiasi altra, già montato con le sue armature e con una custodia consistente in genere di un bulbo di vetro o di metallo, con dei terminali che fanno capo ai piedini esterni, dello stesso genere di quelli di uno zoccolo di valvola.



244. Schema elettrico orologio con controllo a quarzo.
Elenco parti: 1 - 1-5 pF, semifisso ad aria. 2 - 2 megaohm. 3 - 8-50 pF semifisso ad aria. 4 - 62 pF. 5 - 62.000 ohm. 6 - valv 6SJ7. 7 - 0,1 mF. 8 - 33.000 ohm. 9 - 470 pF. 10 - 790 pF. 11 - 500.000 ohm. 12 - 2000 ohm. 13 - mezza 6SN7. 14 - 10 pF. 15 - 10.000 pF. 16 - 0,1 mF. 17 - 1000 pF. 18 - 2,5 mH. 19 - 10 pF. 20 - 10.000 ohm. 21 - 5000 pF. 22 - 5000 pF. 23 - 10.000 ohm, filo. 24 - 270 ohm. 25 - 4700 ohm. 26 - 6SL7. 27 - 10 pF. 28 - 10.000 ohm. 29 - 10.000 ohm. 30 - 100 pF. 31 - 10.000 pF. 32 - 10.000 pF. 33 - 10.000 ohm. 34 - 6SL7. 35 - 10.000 ohm. 36 - 1000 ohm. 37 - 47.000 ohm. 38 - 500.000 ohm 1 w. 39 - 0,5 mF. 40 - 50 mF. 41 - 16 mF, 450 v. 42 - 6V6. 43 - 270 ohm, 2 w. 44 - 500.000 ohm. 45 - 50.000 pF. 46 - 100.000 ohm. 47 - 2000 ohm. 48 - mezza 6SN7. - 49 - 1 megaohm. 50 - 20.000 pF. 51 - 100.000 pF. 52 - 10.000 pF. 53 - 15.000 ohm. 54 - 270.000 ohm. 55 - 100.000 ohm. 56 - 50.000 pF. 57 - 50.000 pF. 58 - 6SL7. 59 - 235.000 ohm. 60 - 47.000 ohm. 61 - 47.000 ohm. 62 - 100 pF. 63 - 50.000 pF. 64 - 50.000 pF. 65 - 6SL7. 66 - 4700 ohm. 67 - 47.000 ohm.

Il quarzo viene eccitato e mantenuto in oscillazione da un oscillatore di tipo convenzionale, servito da un circuito a valvole, fig. 244. L'uscita a 120 chilocicli dell'oscillatore è poten-

ziata, per quello che riguarda il suo livello, da un circuito amplificatore monostadio con accoppiamento a resistenza, quindi essa viene ridotta mediante una demoltiplica determinata dalla serie di multivibratori che operano rispettivamente a 6000, 1200, 200 e 60 cicli al secondo. L'uscita presente a valle dell'ultimo di questi multivibratori viene inviata ad un preamplificatore accordato che a sua volta aziona l'amplificatore di potenza, nella disposizione complessiva visibile nello schema a blocchi della fig. 245.

I multivibratori, come mi è capitato di constatare personalmente, sono dei congegni ribelli se si prova a metterli in condizione di dividere la frequenza che viene presentata alla loro entrata di un fattore maggiore di due o di quattro, come finalmente sono riuscito ad ottenere.

Era occorsa una lunga serie di esperimenti per trovare i migliori valori di lavoro per le resistenze ed i condensatori, in maniera che l'intero circuito desse alla fine i risultati voluti.

Nel principio, il multivibratore è un amplificatore a due stadi con accoppiamento a resistenza nel quale l'uscita di ciascuna delle sezioni e quindi di ciascuna delle valvole viene presentata all'entrata dell'altra, v. fig. 246. Quando viene applicata la tensione di alimentazione al complesso, un piccolo impulso di corrente circola su ciascuno dei circuiti di placca del sistema.

Degli impulsi fanno poi la loro comparsa anche come cariche sulle griglie rispettive delle valvole. Invariabilmente, comunque, uno dei due impulsi risulta meno forte dell'altro in quanto, anche volendolo, è praticamente impossibile realizzare i due rami di ogni circuito simmetrico identici alle caratteristiche elettriche.

Questa asimmetria iniziale viene comunque messa a profitto in quanto una più forte corrente circola sulla placca della valvola la cui griglia presenta una carica maggiore. A questo punto, la griglia dell'altra valvola, risultando come si è visto dallo schema collegata elettricamente alla placca della prima, viene resa fortemente negativa, per cui nella valvola in questione si raggiunge immediatamente la condizione di interdizione alle quali anche la piccola corrente che circolava attraverso di essa viene bloccata.

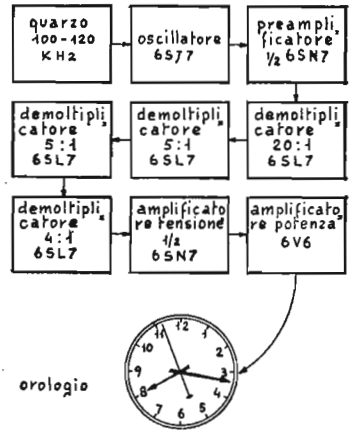
In queste condizioni si dice che il tubo ha superato il suo punto di « cut-off ». La carica negativa presente su questa gri-

glia e quindi sul condensatore di accoppiamento che le è associato si disperde attraverso una resistenza collegata tra griglia e catodo. Il tempo impiegato a che questo processo di dispersione sia completo dipende dalle dimensioni elettriche del condensatore di accoppiamento e da quelle della resistenza.

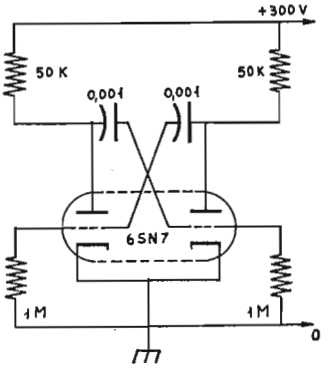
Man mano che questa carica si disperde, comunque, il potenziale della griglia comincia ad aumentare sino ad avvicinarsi ad un valore positivo, o meglio, a quello al di là del quale la valvola riprende a condurre corrente nel tratto tra il catodo e la placca.

Quando questo punto critico viene raggiunto, la valvola prende immediatamente a condurre corrente nel circuito di placca. L'impulso risultante che ne deriva porta, attraverso il condensatore di accoppiamento, la griglia dell'altra valvola ad uno stato di potenziale negativo dal che deriva l'interdizione della corrente di placca di questa valvola.

Come si vede, il ciclo si ripete simmetricamente ed alternativamente sui due bracci del circuito. Ne abbiamo una specie di azione ad « altalena » od a pendolo in cui, per lo stesso in-



245. Schema a blocchi di un orologio pilotato a quarzo.



246. Schema fondamentale di un multivibratore. La frequenza è determinata dai valori delle resistenze e dei condensatori di griglia, in questo caso rispettivamente di 1 megaohm e 100 picofarad.

tervallo di tempo, le due sezioni del circuito multivibratore, a turno, divengono sede di una corrente di placca e passano quindi alle condizioni della interdizione più completa della corrente stessa. Abbiamo quindi che, in qualsiasi istante si esamini il complesso, esso presenta una griglia positiva ed una negativa.

La frequenza alla quale il multivibratore esegue questa specie di oscillazione può essere aumentata quasi senza variare il valore del condensatore di accoppiamento né quello della resistenza di dispersione. Se, mentre una delle due griglie si approssima al punto in cui può di nuovo consentire il passaggio della corrente anodica della valvola di cui fa parte, un impulso viene applicato alla griglia stessa proveniente da una fonte esterna, la condizione di conduzione della corrente di placca viene raggiunta più presto. Un impulso esterno, di appropriata polarità, ossia positivo, neutralizzerà infatti rapidamente la carica negativa rimanente sulla griglia e porterà la griglia stessa ad un potenziale al quale essa potrà consentire il passaggio della corrente anodica. Il multivibratore deve a questo effetto la sua capacità di dividere la frequenza che viene presentata sul suo circuito di entrata, vale a dire a quello di griglia.

La divisione della frequenza viene ottenuta mediante la regolazione della frequenza naturale o libera dei circuiti, ad un valore prossimo ma leggermente inferiore a quello del sottomultiplo che interessa ottenere dalla frequenza di entrata e quindi mediante l'introduzione del segnale o della frequenza di controllo nella griglia di una delle due valvole che compongono il multivibratore.

Con le cose predisposte in questa maniera, abbiamo che il multivibratore si « aggancia », con il suo ciclo di ripetizione, appunto alla frequenza del sottomultiplo che esso deve mettere in evidenza, a conseguenza della « divisione » di frequenza esplicata nel suo circuito.

Questo « aggancio » è molto stabile per il fatto che uno, ed uno solo, è l'impulso del segnale che può pervenire al circuito del multivibratore quando quest'ultimo si trova a un punto prossimo a quello critico del suo stesso innesco, ossia al momento in cui la tensione della griglia sta per giungere al punto in cui deriva la conduzione della corrente di placca nella valvola stessa.

Altri impulsi di segnale arrivano al complesso, mentre la gri-

glia si trova fortemente negativa oppure (durante semiperiodi alternati) quando essa risulta caricata positivamente. Per questo, se un segnale di controllo con frequenza di 120 chilocicli al secondo viene presentato ad una delle griglie di un multivibratore che sia stato regolato in modo che la sua frequenza propria o libera sia di poco inferiore ai 6000 cicli al secondo, accade che i primi nove cicli del segnale raggiungono il multivibratore quando la griglia da controllare si trova ad un punto di polarizzazione negativa inferiore a quella che consente il passaggio della corrente anodica.

Il decimo ciclo però, capita proprio in tempo per portare la griglia ad un punto adatto per consentire il passaggio della corrente anodica: durante i successivi impulsi la griglia comandata è già positiva ed il segnale non ha alcun effetto con le condizioni di conduttività della valvola.

Al termine di questo intervallo la valvola simmetrica alla prima entra automaticamente nelle condizioni favorevoli per il passaggio della corrente e porta la griglia di comando ad un potenziale negativo in preparazione della successiva serie di eventi che si manifesterà identica alla prima.

Per questo ogni 20 impulsi del segnale di entrata ve ne è uno solo che pilota la valvola controllata nelle condizioni atte al passaggio della corrente anodica. Ne deriva che il multivibratore funziona con un ritmo pari alla ventesima parte di quello del segnale di arrivo.

L'uscita di un multivibratore può pilotare l'entrata di un altro. Quattro gruppi regolati opportunamente possono così bastare a ridurre il segnale di partenza dai 120 chilocicli, in quattro fasi successive, rispettivamente a 6000, 1200, 240 e finalmente a 60 cicli. Nel caso del mio orologio, il segnale di 120 chilocicli viene derivato dall'oscillatore a valvola di tale frequenza, stabilizzato mediante il cristallo di quarzo previsto.

L'uscita a 60 periodi, presente a valle del multivibratore finale, è poi filtrata ed amplificata rispettivamente a mezzo trasformatori ed amplificatori, per essere portata al valore di 110 volt richiesti dal meccanismo dell'orologio per il suo funzionamento.

Va ammesso a questo punto che la frequenza dell'oscillazione libera del multivibratore viene influenzata da diversi fattori: la

tensione dell'alimentazione anodica, la temperatura del catodo, l'umidità, la pressione atmosferica e così via. Il mio sospetto, dunque, relativo all'influenzabilità, specialmente nel primo stadio, nel quale il rapporto di riduzione è maggiore che negli altri, poteva essere fondato: in effetti il gruppo per la produzione degli impulsi a frequenza di 6000 al secondo è talmente sensibile che può bloccarsi od innescarsi con qualsiasi disturbo elettrico che si verifica nel complesso.

Niente quindi di più probabile che lo scatto avvenga, in moltissime occasioni, al 19° od al 21° impulso dell'alternanza del segnale in arrivo, comunque questo comportamento irregolare non è talmente grave da handicappare il funzionamento di qualsiasi altro apparecchio, ad ogni modo, è per lo meno umano suggerire a quanti si accingano alla costruzione di un orologio come questo, di premunirsi di una gran dose di pazienza, in modo da resistere allo scoraggiamento che potrebbe manifestarsi in loro alle prime strane reazioni del complesso.

Va però ricordato che queste difficoltà possono essere evitate in gran parte usando un numero appena maggiore di valvole elettroniche, in modo da realizzare il sistema di demoltiplicazione in un numero maggiore di stadi, con un rapporto più piccolo da stadio a stadio; comunque, come molti dilettanti, io stesso preferisco affrontare i problemi e risolverli nella maniera più difficile, specialmente quando questo vada anche a favore di una certa economia nella spesa generale necessaria per la costruzione.

Anche in questa forma, però, qualsiasi dilettante che possieda un bagaglio di pazienza sufficiente per lavorare otticamente uno specchio parabolico per telescopio troverà che il progetto non è molto difficoltoso. Chiunque può infatti apportare modifiche anche sostanziali ai componenti in qualsiasi momento, od addirittura ricominciare continuamente dal materiale sciolto, senza perdere altro se non il proprio tempo. Dopo tutto, quale sarebbe il divertimento che si potrebbe ottenere dalla realizzazione di un meccanismo od un apparecchio, se poi questo funzionasse alla perfezione già dalla sua prima prova?

La disposizione delle parti sullo chassis dell'apparecchio non è affatto critica; la seconda valvola della linea, vale a dire il doppio triodo 6SN7 semmai, dovrebbe essere installato con una certa cura. Questo tubo, infatti, adempie a due funzioni: una delle

sue sezioni opera come preamplificatore per la frequenza da 120 chilocicli e l'altra, invece, serve da preamplificatore per la frequenza di 60 cicli.

Ne deriva che è bene che esso sia sistemato molto vicino alla valvola oscillatrice, da cui può ricevere il segnale mediante collegamenti corti e diritti. La sezione a 60 periodi può invece essere alimentata con il segnale appunto da 60 cicli, senza inconvenienti anche quando il conduttore che porta tale segnale alla valvola risulti alquanto lungo.

Qualsiasi sistema per l'esecuzione dei montaggi è soddisfacente, a patto che non risulti troppo contorto da complicare le operazioni della sostituzione delle resistenze e dei condensatori nei vari multivibratori, quando questo risulti necessario. I circuiti di ciascun multivibratore debbono essere realizzati, per così dire, su misura: i valori dei condensatori e delle resistenze impiegate in ognuna delle sezioni e rilevabili dalle indicazioni nello schema elettrico sono solo approssimativi: essi erano quelli che funzionavano nello strumento da me realizzato ma, in vista delle inevitabili differenze tra le valvole dello stesso tipo ed in vista anche delle tolleranze dei vari componenti e delle differenze introdotte dai diversi sistemi di montaggio, i valori in questione possono richiedere di essere adattati più o meno profondamente, nel corso di una serie di prove, piuttosto prolungate.

Una volta che le connessioni nell'apparecchio siano state fatte e sia stata controllata l'assoluta correttezza di ciascuno dei collegamenti ed una volta inserite al loro posto le valvole nuovissime, occorre predisporre il regolatore del circuito alimentatore in modo che esso funzioni a 150 volt, sotto un carico di 25 milliampère di assorbimento da parte del complesso.

Un sistema sicuro per ottenere questo è quello di inserire una resistenza provvisoria da 100 ohm, in serie con il lato collegato a terra della valvola regolatrice di tensione e di regolare la resistenza variabile da 20 watt, iniziando dal suo valore di 2000 ohm sino a quando tra i capi della resistenza di 100 ohm non si rilevi una differenza di potenziale corrispondente ad una caduta di tensione di 2,5 volt.

Questo metodo aggira il pericolo del danneggiamento di un milliamperometro che potrebbe invece essere inserito direttamente e che risulterebbe danneggiato qualora il circuito fosse incidental-

mente cortocircuitato durante le regolazioni. Il controllo d'uscita sulla griglia della valvola 6V6, amplificatrice di potenza, deve essere regolato nella posizione minima mentre si provvede alla correzione dei vari stadi del multivibratore.

È anche possibile la regolazione ad orecchio della frequenza dell'oscillazione libera del multivibratore. Una cuffia, collegata attraverso un amplificatore isolatore, dovrebbe essere in grado di permettere l'ascolto del tono e di far giudicare la frequenza delle uscite rispettive.

Un oscilloscopio a raggi catodici è, comunque, il migliore strumento per l'esecuzione di questo lavoro; se non se ne possiede uno conviene sempre ottenerlo in prestito dal più vicino radioriparatore o, nel caso che tale riparatore sia proprio contrario ad un tale prestito, vale sempre la pena pregare questi a curare lui stesso la regolazione che interessa.

L'oscilloscopio viene usato per esaminare le forme di onda ed anche le frequenze relative di due sorgenti di oscillazione nel medesimo tempo. Prima che le prove in questo senso siano iniziate, si collega un terminale di una resistenza da un quarto di watt e da un megaohm a ciascuno dei due puntali dell'oscillografo, uno dei quali è interessato alla deflessione orizzontale e l'altro alla verticale; i due terminali liberi delle sue resistenze sono poi usati come veri e propri puntali per la ricerca della frequenza, ma occorre l'avvertenza di evitare di toccare non solo i terminali, ma il corpo delle due resistenze, anche con le sole mani, per evitare di introdurre nell'oscillografo delle indesiderabili componenti alternate.

Le prove si basano sulle immagini presentate dallo schermo dell'oscilloscopio quando le entrate di questo sono alimentate con frequenze in rapporto intero tra di loro come ad esempio, 4 ad 1, 20 ad 1 e così via. Quando le frequenze introdotte sono in un effettivo rapporto intero tra di loro, l'immagine risultante nello schermo oscilloscopico, è una delle ben note figure di Lissajoux.

Se la deflessione orizzontale dell'oscilloscopio compie una intera oscillazione, ad esempio, mentre la scansione orizzontale ne compie 2 o più, l'immagine oscilloscopica può rassomigliare ad una corona deforme: vi è un certo numero di denti attorno al suo bordo superiore. Se i denti sembrano spostarsi leggermente ed anche con lentezza, si deve concludere che il rapporto tra le

due frequenze non si può esprimere con un numero veramente intero.

Il procedimento di prova e di regolazione può risultare alquanto noioso ma non difficile. I puntali dell'oscilloscopio sono accostati ad un paio di sorgenti di frequenza, indi si osserva l'immagine sullo schermo e la regolazione mediante manovra di potenziometri o mediante variazione di qualcuno dei valori del circuito viene decisa a seconda delle istruzioni rilevabili dalle indicazioni stesse dell'immagine. Le sorgenti di frequenza da esaminare debbono essere rese riconoscibili mediante puntali contrassegnati.

L'impresa della prova inizia dal multivibratore da 6000 periodi; si collega dapprima il puntale della scansione verticale dell'oscilloscopio, sul punto A, ossia all'uscita del segnale dei 120 chilocicli, mentre si collega il puntale della scansione orizzontale al punto B che rappresenta l'uscita del multivibratore a 6000 periodi o comunque, della frequenza che ci auguriamo sia appunto di 6000 periodi.

Si toglie la valvola 6SL7 dal successivo multivibratore a 1200 cicli, per disattivare questa sezione, si regola l'amplificazione sia verticale che orizzontale in modo da ottenere una immagine oscilloscopica di adatte caratteristiche per una comoda immagine e di adatte dimensioni. Si ruota poi il comando variabile della resistenza di griglia da 10.000 ohm del multivibratore da 6000 periodi sino a fare in modo che l'immagine prodottasi sullo schermo del tubo risulti immobile.

Nel corso di questa prova capiterà molto probabilmente di incontrare diversi punti della regolazione della resistenza nei quali l'immagine oscilloscopica risulterà immobile: se ne sceglie allora uno, si regola il controllo di amplificazione dell'oscilloscopio, per ottenere la massima deflessione ossia la massima ampiezza della figura e si contano le punte od i denti dell'immagine o della corona: quando la regolazione della resistenza di griglia sarà stata fatta, con un poco di fortuna potrà capitare di contare venti punte dell'immagine oscilloscopica, v. fig. 247, in alto a sinistra.

Se il numero delle punte risulta più alto o più basso di questo valore, si tratta di manovrare ancora la resistenza per trovare un altro punto in cui l'immagine risulterà stabile,

ed anche questa volta si tratterà di contare le punte dell'oscillogramma.

Se con nessuna delle regolazioni eseguite sulla griglia del multivibratore si riuscirà ad ottenere un'immagine statica composta da venti punte, potrà essere necessario variare il valore della resistenza da 4700 ohm del circuito di griglia del secondo multivibratore. Si stacca dunque questa resistenza da 4700 ohm ed al suo posto si inserisce un buon potenziometro od anche un solo reostato, ad esempio da 100.000 ohm.

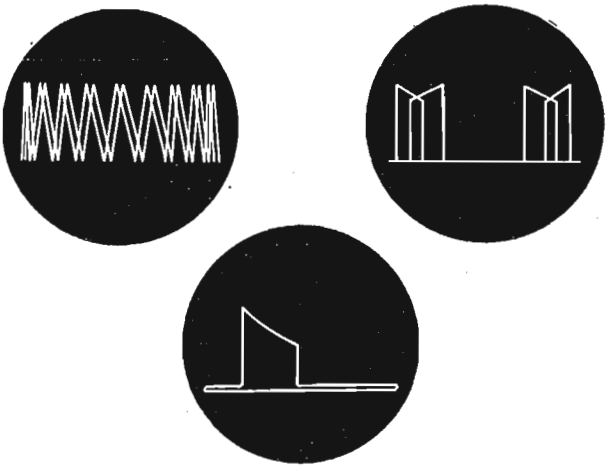
A questo punto si regola la resistenza variabile di grigia della prima valvola sino a metà della sua corsa e si prende a regolare il reostato ora aggiunto al circuito di griglia della seconda.

L'aumento della resistenza darà luogo alla diminuzione della frequenza propria del multivibratore, dando così luogo alla comparsa di un numero maggiore di punte sull'oscillogramma, mentre dalla diminuzione della resistenza stessa si avrà il risultato opposto.

Prima o poi, comunque, si dovrà trovare una posizione della regolazione dei due controlli, nella quale l'oscillogramma presenterà esattamente le venti punte desiderate. A questo punto basterà misurare il valore della resistenza presentata dal reostato da 100.000 ohm, inserito sul circuito di griglia del secondo tubo, in queste condizioni e si provvede a procurare una resistenza fissa di buona qualità che presenti appunto un valore molto vicino a quello indicato dal reostato stesso e si collega stabilmente nel circuito tale resistenza, in luogo di esso, ossia, in sostanza, in luogo della resistenza originaria da 4700 ohm, il cui valore non si era dimostrato adatto.

Questa nuova sostituzione di resistenze potrà dare nuovamente luogo alla perdita dell'oscillogramma da venti punte, ma una piccola regolazione del reostato da 100.000 ohm, sarà di solito sufficiente per ricreare queste necessarie condizioni.

Si reinserisce la valvola 6SL7 che era stata tolta dal circuito multivibratore da 1200 cicli e si toglie invece la valvola inserita nel circuito da 240 cicli. Si porta il puntale della deflessione verticale dell'oscilloscopio sul punto C mentre si porta il puntale della deflessione orizzontale su qualsiasi punto nel quale si trovi il lato sotto tensione della linea alternata dell'accensione delle valvole, allo scopo ovviamente di prelevare la tensione al-



247. Figure oscilloscopiche di Lissajous dei segnali prelevati sui multivibratori, per facilitare le operazioni di regolazione dell'orologio. *In alto a sinistra*: rapporto 20 ad 1, puntale defless. verticale oscillosc. al punto (A); puntale defless. orizzontale, al punto (B). *In alto a destra:* rapporto 4 ad 1, puntale defless. verticale, al punto (D). *In basso:* rapporto 1 ad 1, puntale defless. verticale, al punto (E).

ternata a 60 cicli, qui necessaria per l'esecuzione dei raffronti. Se il secondo multivibratore funziona alla frequenza desiderata di 1200 cicli, l'immagine oscilloscopica osservabile dovrà ancora presentare un numero di venti punte.

Una lenta rotazione dell'immagine sullo schermo potrà essere senza dubbio rilevata, il che starà ad indicare che la frequenza della corrente alternata di rete non è degli esatti 60 cicli nominalmente dichiarati dalle varie imprese per la produzione dell'energia elettrica.

Se, al contrario, l'immagine presenta una marcata instabilità verticale e si muove con una certa rapidità, pur rinnovandosi, si tratterà di prendere il reostato da 100.000 ohm, da poco staccato dal circuito di griglia della seconda valvola, ed inserirlo al posto della resistenza da 10.000 ohm, presente sul circuito di griglia della prima valvola del multivibratore da 120 periodi. Poi si indaga nuovamente nella frequenza della sezione a 6.000 cicli.

Si varia quindi il reostato per dare luogo alla produzione dell'immagine oscilloscopica da venti punte eventualmente con la lenta rotazione su di un piano orizzontale come annunciato in precedenza, mentre il puntale della deflessione verticale dello strumento sta sul punto C ed il puntale di deflessione orizzontale continua a stare a contatto della linea di accensione delle valvole, su cui sia presente la tensione alternata di 60 cicli.

Si misura il valore presentato dal reostato in tali condizioni, quando cioè nell'immagine sullo schermo si ha una indicazione di venti punte e si sostituisce il reostato in questione con una resistenza fissa di buona qualità che presenti un valore analogo. Di nuovo si controlla il funzionamento di tutte le sezioni del complesso a questo punto della regolazione. La procedura per la regolazione di tutte le altre sezioni è simile a quella ora descritta; in ogni caso, mentre una sezione viene regolata, la prima valvola della sezione immediatamente successiva a questa deve essere sfilata dal suo zoccolo.

Il puntale di deflessione orizzontale viene sempre mantenuto sulla linea di alimentazione in alternata dei filamenti delle valvole, mentre si provvede alla regolazione delle sezioni a 1200, 240 e 60 cicli. Il puntale della deflessione verticale deve essere collegato al punto D (vale a dire all'uscita della sezione a 240 cicli) mentre si regola la resistenza di griglia, sino a quando non si riesce ad ottenere un'immagine oscilloscopica che presenti quattro punte, indicando che il rapporto esatto tra la frequenza della tensione di rete e quella libera dello stadio multivibratore in esame, è appunto di quattro.

Similmente, con il puntale della deflessione verticale collegato con il punto E (vale a dire all'uscita della sezione a 60 periodi), occorre alterare il valore della resistenza di griglia da 15.000 ohm, presente sulla seconda valvola, per fare in modo di ottenere un'immagine oscilloscopica che presenti una sola punta.

Infine si collega il puntale di deflessione verticale al punto F, vale a dire sul circuito d'uscita dello stadio preamplificatore a 60 cicli. L'immagine oscilloscopica dovrà allora prendere la forma di una ellisse in rotazione abbastanza uniforme che tende a divenire lentamente una linea diritta ad una estremità e che si apre invece a formare un cerchio, all'estremità opposta. Può anche accadere però che non tutto vada così bene. Quando il

tubo della sezione a 1200 cicli viene reinserito al suo posto, a seguito delle regolazioni fatte sulla sezione da 6000 cicli, può accadere ad esempio che quest'ultima sezione tenda a bloccarsi su di un multiplo del cristallo più elevato o più basso di quello voluto di 20, e questo a causa dell'effetto shuntante esercitato nel circuito dalla presenza della valvola da 1200 cicli. Una simile regolazione della resistenza variabile da 10.000 ohm può comunque di solito correggere questo difetto.

Nel caso estremo opposto può invece essere necessario ripetere l'intero processo della regolazione e trovare un altro valore per la resistenza originaria da 4700 ohm. In tale caso la seconda prova sarà senz'altro più fortunata per il fatto che il multivibratore a 1200 cicli tenderà a rimanere fortemente agganciato alla frequenza che gli è stata assegnata. Si potrà pertanto dire che il traguardo voluto sarà stato a questo punto notevolmente avvicinato grazie alle regolazioni precedenti.

Un indicatore permanente dell'andamento generale dell'insieme, molto utile anche se approssimato, è rappresentato da un circuito servito da una lampada al neon. Il puntale di prova della lampada contrassegnato con la lettera L viene collegato direttamente ad uno dei due conduttori della linea di entrata della tensione di rete, punto L nelle figg. 244 e 248.

Di solito, quando la frequenza della linea devia dalla condizione di sincronizzazione rispetto alla frequenza da 60 cicli prodotta dal cristallo dell'oscillatore e quindi vi ritorna, si nota una pulsazione della luminosità della lampada al neon, dalla sua massima luminescenza alla completa oscurità o quasi, in misura ed allo stesso passo con la differenza di frequenza esistente tra questi due segnali. Nel caso invece che la serie dei multivibratori non sia stata sincronizzata perfettamente, la lampada tenderà a lampeggiare con un'assai maggiore rapidità.

Un orologio elettrico operante in alternata a 60 cicli ed a 100 volt che, durante il funzionamento, non assorba più di tre watt di potenza, viene allora collegato all'uscita dell'amplificatore di potenza del dispositivo elettronico. Quando il comando dell'amplificatore di potenza in questione viene ruotato in modo da dar luogo ad un'uscita di 110 volt, si potrà notare l'avviamento del motore, ammesso che quest'ultimo sia in perfette condizioni.

Rimane a questo punto una regolazione finale, dopo di che

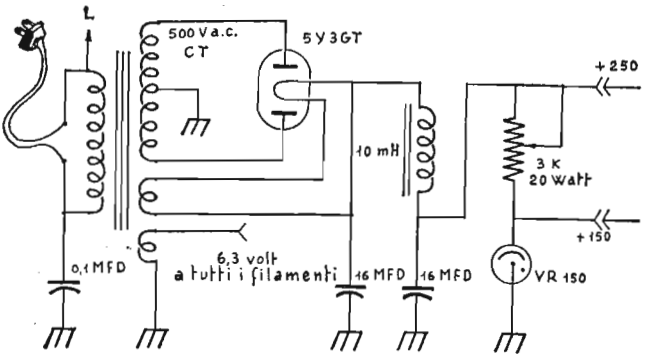
l'orologio elettronico risulterà perfettamente pronto per entrare in funzione. In particolare, occorre che esso sia regolato con un orologio campione, mentre la frequenza del cristallo deve risultare con una tolleranza ristrettissima rispetto a quella voluta, di 120 chilocicli, e le lancette dell'orologio vero e proprio debbono essere predisposte per l'ora esatta nella zona.

L'elemento di controllo per regolare il ritmo di funzionamento dell'orologio è basato sul fatto che un cristallo piezoelettrico può essere costretto ad oscillare più rapidamente o più lentamente sia pure entro limiti ristretti, rispetto a quella che è la sua frequenza fondamentale, mediante l'alterazione dell'entità delle sollecitazioni elettriche impartite al cristallo stesso dell'oscillatore a valvole che è collegato ad esso, proprio come il pendolo di un orologio meccanico può essere messo in condizioni di oscillare più lentamente o più rapidamente di quello che è il suo periodo alterando l'entità dell'energia impartita o sottratta dal meccanismo dello scappamento.

L'energia di pilotaggio del cristallo, nella forma di impulsi elettrici, viene prelevata dalla valvola dell'oscillatore, attraverso un condensatore variabile ad aria, avente una escursione di capacità dai 50 agli 8 picofarad; questo condensatore si può pertanto considerare come un dispositivo, sia pure approssimato, di regolazione dell'orologio. Un secondo condensatore variabile con escursione di capacità da 1 a 5 picofarad viene collegato tra il lato « caldo », ossia sotto tensione a radiofrequenza, del cristallo, e la terra.

Esso serve a shuntare in direzione della terra parte dell'energia prodotta dalla valvola, nella misura che risulta ovviamente proporzionata alla capacità presentata momento per momento dal condensatore stesso; tale organo provvede pertanto ad una sorta di regolazione « fine » del complesso di misurazione del tempo.

Le principali frequenze di riferimento disponibile negli Stati Uniti sono rappresentate dalle emissioni dei segnali orario irradiate dalla stazione WWV del National Bureau of Standards. Per fortuna, tali segnali sono trasmessi con una sufficiente potenza per cui possono essere captati quasi con regolarità anche in zone molto distanti. I segnali sono irradiati su frequenze portanti di 2,5 megacicli, 5 megacicli, 10 megacicli e così via, nei



248. Schema elettrico dell'alimentatore per l'orologio pilotato a quarzo.

multipli cioè delle frequenze di 5 megacicli, sino a 25 megacicli al secondo.

Per la ricezione di tali emissioni non occorre altro che un buon ricevitore in grado di captare la gamma delle onde corte e munito di una antenna esterna abbastanza efficiente. La precisione delle frequenze irradiate dalla stazione WWV è elevatissima, in quanto giunge ad una tolleranza di un solo ciclo su cento megacicli.

Tutte le frequenze portanti delle emissioni WWV sono modulate periodicamente con annunci a voce sull'orario e da una serie di colpi della durata ciascuno di 5 millesimi di secondo e che si ripetono con un ritmo di uno al secondo.

Si tratta pertanto di cercare con la radio uno dei segnali delle WWV e di fissare l'attenzione sui colpi che scandiscono i secondi. Poi, con qualsiasi mezzo conveniente, si tratta di regolare l'orologio in modo che esso pure produca dei colpi udibili in corrispondenza di ogni secondo. L'orologio da me usato è del tipo con contatempo a tamburo, nel quale una sorta di bilanciere accoppiato con il meccanismo del tamburo stesso viene mosso da un nottolino azionato dal motore.

Il movimento del tamburo inizia allo scadere di ciascun minuto e si ha lo scatto esattamente tre secondi più tardi. L'orologio viene dunque regolato in modo approssimativo sulle indicazioni dell'orario, dato dalla voce della WWV e quindi viene

tarato più strettamente con il metodo del confronto del rumore dato dallo scatto del nottolino con ogni quattro colpi della serie WWV, a partire dallo scatto del minuto. Questo rappresenta lo scatto al termine del terzo secondo.

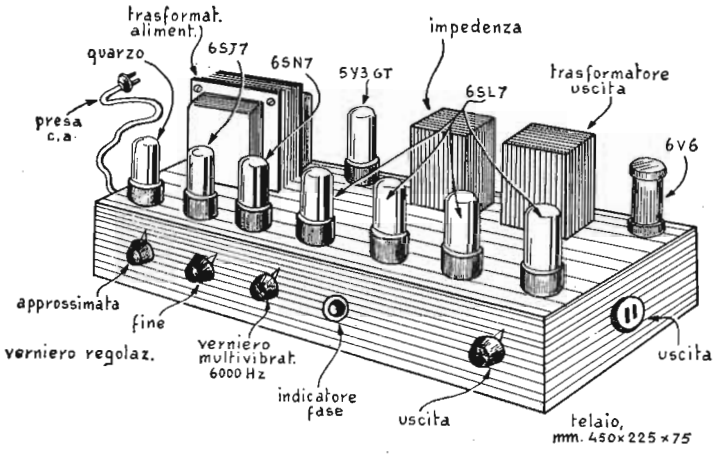
Mi è stato possibile valutare ad orecchio, con un'approssimazione di un decimo di secondo, le differenze tra il ticchettio del segnale della stazione WWV e quello del mio orologio, quando il battito del mio si verifica prima o dopo quello del segnale WWV.

Si tratta pertanto di notare la differenza esistente tra i due battiti non appena l'orologio viene messo in funzione; poi si controlla se questa differenza tenda a variare, divenendo minore o maggiore: se questa variazione è molto rapida si tratta di intervenire opportunamente per ridurla; se invece essa è lenta, occorre lasciare trascorrere un'ora almeno, per notare le variazioni; comunque, una volta fatta la constatazione, si tratterà di intervenire con una rotazione di pochi gradi della manopola del condensatore da 1-5 pF, incaricato alla regolazione « fine » del ritmo dell'orologio.

Dopo un'altra ora si controlla se le cose dopo questo intervento siano state migliorate o meno ed, anche questa volta, si provvede. La manopola collegata al condensatore della regolazione fine, si marca con una freccia indicante la direzione della rotazione occorrente per fare accelerare l'orologio e della rotazione per farlo invece rallentare. Se nel corso delle regolazioni si nota che l'azione del comando « fine » anche completamente ruotato, non ha effetto sufficiente, si tratta di far ricorso anche alla regolazione del condensatore da 8-50 picofarad, il quale deve essere comunque manovrato con estrema gradualità e con piccolissimi tratti ogni volta.

Da questo punto, tutte le ulteriori regolazioni tendono solo a restringere via via la tolleranza dell'orologio e quindi il suo margine di errore. Quando esso sia regolato con cura, lo strumento dovrà presentare un'approssimazione di un decimo di secondo ad intervalli di settimane.

Taluni dilettanti vivono in zone in cui i segnali della stazione WWV non possono essere captati. Anche per questi comunque esiste una possibilità per la taratura dell'orologio, a patto che dispongano ugualmente di un buon apparecchio radio-



249. Generatore elettronico di frequenza stabilizzata a quarzo, per azionare l'orologio elettrico di precisione.

ricevente: essi dovranno infatti andare alla ricerca di stazioni che emettano qualsiasi genere di segnale, ma possibilmente telegrafiche, su frequenze che risultino sottomultiple della frequenza di 120 chilocicli, vale a dire di 600, 720, 840, 960, 1080, 1200 e via dicendo. Il circuito di placca del preamplificatore offre una via di accesso alla frequenza del cristallo attraverso un condensatore da 10 picofarad inserito al punto contrassegnato con la sigla « prova » nello schema di fig. 244.

Questa frequenza viene poi comparata con quella della stazione ricevuta collegando un filo tra il punto « prova » ed il morsetto esterno della connessione di antenna nel ricevitore, accordando la stazione ed ascoltando quindi il battimento o la differenza di frequenza tra l'oscillazione dell'orologio o quella della stazione radio.

Se l'apparecchio radio che si usa dispone di una antenna interna a quadro od in bacchetta di ferrite, occorre avvolgere mezzo metro di filo circa, sull'una o sull'altra delle antenne, curando che l'avvolgimento sia nello stesso senso di quello delle spire dell'antenna vera e propria, e collegando quindi il terminale libero esterno al punto di « prova » dell'oscillatore dell'orologio.

Occorre poi regolare il volume della radio in modo che i battimenti possano essere uditi chiaramente nell'altoparlante di questa. Il suono sembrerà senza dubbio un sibilo oscillante o pulsante.

Il regime della pulsazione è uguale alla differenza di frequenza tra quella dell'orologio ed un sottomultiplo della frequenza portante; occorre quindi manovrare i due comandi dei condensatori sul circuito del cristallo in modo da regolare l'oscillatore ad un battimento zero. In queste condizioni, l'orologio presenterà una precisione di frequenza uguale a quella della stazione radio che serve da campione e che di solito risulta abbastanza attendibile.

Un dilungamento forse eccessivo della descrizione delle operazioni di regolazione dello strumento è giustificato dalla portata dell'impresa in quanto il progetto a cui essa si riferisce non è davvero dei più semplici anche per i più pratici in fatto di montaggi radioelettrici. I multivibratori sono congegni così ribelli che ciascuno degli orologi, per quanto derivanti da un progetto di base uguale, deve considerarsi piuttosto come il risultato di un progetto particolare ed individuale; ad ogni modo lo strumento che alfine si riesce ad avere a disposizione ben vale il tempo e la pazienza spesi nella sua realizzazione.

Una volta messo in funzione, l'uscita a 60 cicli dell'oscillatore a valle dei multivibratori può essere ulteriormente amplificata per essere messa in grado di azionare dispositivi elettromeccanici quali movimenti di telescopi, di penne di sismografi ecc.

Debbo però dire che nelle zone nelle quali la frequenza della tensione di rete, invece che di 60, sia di 50 cicli al secondo come accade da noi, le frequenze di lavoro dell'oscillatore e dei vari multivibratori debbono essere scelte in considerazione di questo fatto, per cui si deve scegliere la frequenza di 100.000 cicli per l'oscillatore a quarzo, quella di 5000 per il primo multivibratore, quella di 1000 per il secondo, quella di 200 per il terzo, e di 50 periodi, appunto, per l'uscita.

7

QUALCHE ESPERIMENTO PER UN POMERIGGIO DI FESTA

Diversi affascinanti esperimenti possono essere attuati senza alcuna attrezzatura complessa, taluni anzi non richiedono alcuna attrezzatura. Come si indaga sulla maniera nella quale gli occhi, come organi di senso, presentano l'informazione da essi rilevata, al cervello. Istruzioni per la costruzione di uno « pseudoscopio ». Motori di microscopica potenza azionati da elastici di gomma e da pietrine per accendisigari.

Coloro cui piace trascorrere un poco di tempo nell'esecuzione di esperimenti che non richiedano apparati particolari possono, ad esempio, trovare molto interesse nel misterioso funzionamento della funzione visiva dell'uomo. Chiunque, infatti, è già in possesso di un paio di eccellenti strumenti ottici necessari per questi esperimenti, ossia gli occhi: con questi, con carta e matita, sarà pronto tutto il necessario per l'esecuzione delle prove stesse. In più coloro che possano procurarsi un paio di specchi da borsetta, un paio di lenti a corta focale ed uno stereoscopio, possono spingere la sperimentazione ad un punto tale da sbalordire.

Si inizia, disegnando un rettangolo delle dimensioni di 75 millimetri di larghezza e 50 di altezza che poi si divide mediante una linea orizzontale distante 12,5 millimetri dal lato superiore. Quindi si disegna una serie di cerchi disposti in linea diagonale, attraverso la porzione inferiore del rettangolo, curando che questi cerchi risultino via via decrescenti di diametro, con un massimo all'estremità in basso a sinistra ed un minimo in alto a destra, come illustrato in fig. 250.

Il senso comune dice a chiunque che questo è un disegno piatto, ossia realizzato in due sole dimensioni, vale a dire, in

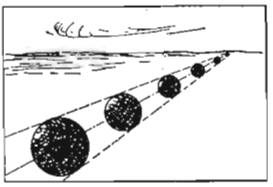
larghezza ed altezza; eppure, il cervello di chiunque stia riflettendo logicamente tende ad insistere che questa è una rappresentazione tridimensionale, specialmente se si abbia l'avvertenza di dosare con cura gli ombreggiamenti sui cerchi stessi: si ha insomma la sensazione di una serie di sfere disposte in linea inclinata, da un primo piano, sino ad un punto di evanescenza sull'orizzonte rappresentato dalla linea orizzontale intermedia tracciata nel rettangolo. Occorse un secolo agli artisti del Rinascimento prima che essi potessero imparare questo sistema per rappresentare, con due sole dimensioni effettive, un soggetto che nella realtà ne comportava invece tre.

La geometria delle proiezioni su cui tale tecnica si basa rappresenta oggi una parte importante della fisica.

Per rappresentare un soggetto tridimensionale vi è un altro metodo che crea un'impressione ancora più marcata e spettacolare. Si disegnano due rettangoli, ciascuno della larghezza di 38 e dell'altezza di 31 millimetri. La spaziatura tra di essi deve essere di 63 millimetri da centro a centro. A questo punto si traccia una linea orizzontale che divida a metà ognuno dei rettangoli.

Successivamente si traccia, esattamente al centro di questa linea centrale orizzontale di ogni rettangolo, un disco del diametro di 6 millimetri colorito con una ombreggiatura; quindi si affianca il disco nel rettangolo a sinistra con un paio di altri dischi di pari diametro ma spaziati 5 millimetri da bordo a bordo e si fa lo stesso nel rettangolo di destra, tracciando anche qui due dischi ai lati del primo ma, a differenza che nel caso precedente, questa volta la spaziatura dei dischi stessi da quello centrale deve essere di 7,5 millimetri, come al solito da bordo a bordo, v. fig. 251.

Per un osservatore casuale non vi è certamente nulla in questo paio di disegni che gli possa suggerire una sensazione tridimensionale ed in rilievo, ma se si osservano questi disegni in



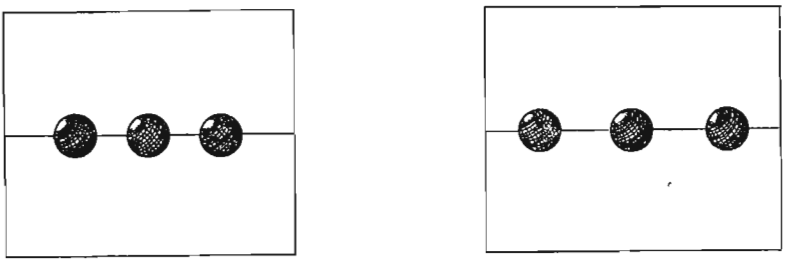
250. Sensazione delle tre dimensioni ottenuta dalla geometria di proiezione.

uno stereoscopio, grazie al quale le due immagini dei rettangoli possono essere sovrapposte a formare un'unica immagine, il disco a sinistra viene visto come una sfera sospesa nello spazio al disopra del piano del foglio, il disco centrale appare invece come una sfera posata sul piano del foglio ed infine il disco di destra appare come una sfera sospesa nello spazio al disotto del piano del foglio stesso.

Con un poco di pratica è anche possibile osservare l'effetto stereoscopico anche ad occhio nudo, ossia senza apparecchio; a tale scopo, si tratta di disporre il disegno alla distanza di 60 centimetri circa a disporre gli indici di entrambe le mani appena all'esterno degli occhi che si trovano dallo stesso lato, poi, mentre si continua a guardare al disegno si muovono lentamente le mani in direzione del disegno. Allora, l'occhio sinistro vedrà la punta del dito indice sinistro ed il destro vedrà la punta dell'indice destro; man mano però che le dita saranno state fatte avanzare, giungerà un momento nel quale si avrà la sensazione dell'esistenza di quattro rettangoli sul foglio.

È quindi evidente che, in queste condizioni, il cervello starà ricevendo separatamente le due immagini presentate ad esso da ciascun occhio; a questo punto però, le due immagini centrali si sovrapporranno gradatamente ed infine si copriranno con esattezza. Se ora si concentra l'attenzione sull'immagine derivata dalla fusione delle due intermedie, si nota che questa appare in tre dimensioni, proprio come apparirebbe quando fosse osservata attraverso allo stereoscopio; quello che si verifica è un fenomeno detto di osservazione stereoscopica con larga spaziatura.

È anche possibile vedere, sempre senza apparecchio stereo-



251. Illusione tridimensionale creata dai disegni stereoscopici.

scopico, le immagini in tre dimensioni con il metodo cosiddetto degli occhi incrociati, che si attua con un solo dito. Si dispongono i disegni alla distanza di 60 centimetri, come nel caso precedente, quindi si posa la punta dell'indice sul setto nasale mentre si guarda in direzione dei disegni ben centrati, si muove lentamente il dito in direzione della linea centrale dei disegni, mettendo però a fuoco lo sguardo sulla punta stessa.

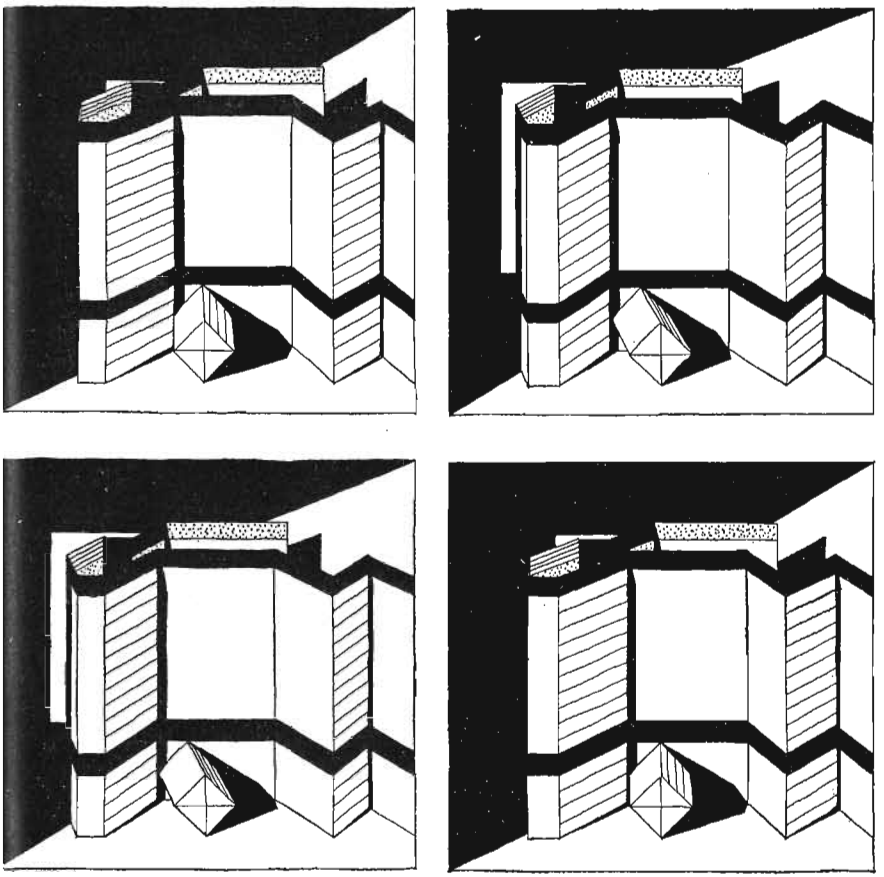
Anche questa volta vi sarà un momento nel quale si avrà la sensazione dell'esistenza sulla carta di quattro rettangoli. Da questo momento, mentre il dito viene ulteriormente avanzato in direzione del disegno, si noterà che la coppia centrale dei disegni stessi si fonderà come nel metodo precedente ed infine il disegno risultante apparirà in tre dimensioni.

L'esperimento differisce però da quello analogo eseguito con forte spaziatura degli occhi, per due ragioni principali: per prima cosa l'immagine derivante dalla fusione delle due appare più piccola in misura della terza parte perché, tra l'altro, in quest'occasione, il percorso ottico nel tratto tra gli occhi ed il foglio di carta risulta maggiore.

Si osserverà anche che le due sfere esterne avranno la loro posizione invertita. La sfera a destra risulterà ora sospesa sul davanti del piano, mentre apparirà dietro al piano stesso quella di sinistra. Ne deriva che l'effetto di rilievo sarà stato invertito.

Roger Hayward, che ha illustrato il presente volume, si è dilettato a volte, per ben 30 anni, nella ricerca delle regole che controllano l'esecuzione dei disegni stereoscopici ed ha indagato in ordine alla stereovisione.

> I disegni stereoscopici non sono così difficili da eseguire, come si potrebbe immaginare; questo è dovuto per prima cosa alla tolleranza dell'occhio, ammesso naturalmente che si comprenda quello che si pensa di vedere. Se ciò che si osserva o se quello che si crede di vedere è in effetti qualche cosa di indefinito in geometria, cioè in prospettiva, od ancora se appare indefinito negli effetti di luci e di ombre, il cervello, non avendo precedenti immagini stereoscopiche alle quali ricollegare quello che vede, è in grado di rifiutare addirittura l'effetto stereoscopico anche se esso sia stato attuato nel disegno, rispettandone tutte le sue regole. L'immagine pertanto



252. Disegni stereoscopici: *in alto*, per una osservazione a sguardo incrociato; *in basso*, per osservazione ad occhi spaziati.

presenterà un'effettiva assenza di rilievo ed apparirà piatta, bidimensionale.

Questo può essere benissimo illustrato dalla coppia di disegni della fig. 252. La coppia superiore, che è stata eseguita in vista di un'osservazione con lo sguardo incrociato, mostra una specie di prisma che sosta di fronte ad un paravento-schermo. Entrambi gli oggetti risultano nel primo piano di una stanza

piuttosto profonda; la scena è illuminata dalla parte alta del lato sinistro. Una parte di un'altra finestra si vede poi nella parete posteriore, seminascosta dagli elementi in primo piano.

La coppia stereoscopica in basso della fig. 252 mostra la stessa scena, ma nella sua versione adatta ad essere osservata con il metodo dello sguardo ad occhi divaricati od anche per mezzo di un normale visore stereoscopico.

Immaginiamo che si abbia a disposizione uno stereovisore oppure si abbia una sufficiente pratica nell'osservazione delle immagini stereoscopiche con uno dei sistemi descritti più sopra; esaminando il disegno si potrà vedere il paravento ripiegato con una striscia nera in prossimità del fondo ed una lungo la sommità.

Parte del paravento è stata ripiegata indietro, e può essere veduta al disopra della sommità nella sua parte più avanzata; il prisma si sporge in avanti ed il paravento getta un'ombra sulla parte destra dell'ambiente. Tutto questo ha l'effetto di una scena veduta in normale prospettiva con un autosufficiente schema di illuminazione e di ombre, sebbene lo schema stesso sia dei più convenzionali.

Si passa poi all'osservazione con lo sguardo incrociato oppure si inserisce la coppia inferiore dei disegni nello stereoscopio; il rilievo apparirà anche questa volta ma invertito, ossia con gli oggetti più vicini che sembreranno più piccoli di quelli più distanti. La porzione ripiegata del paravento sembrerà più vicina della parte frontale, il che ovviamente risulta insensato. Altre parti della scena sembreranno collegate in una confusa sorta di mescolanza.

Da questo esperimento si può concludere che la visione bioculare viene distrutta quando viene in qualche modo forzato il princìpio della prospettiva. Un oggetto distante che copre parzialmente un oggetto più vicino è un controsenso che la nostra mente si limita a rifiutarsi di accettare. Ma se una figura è coerente con la prospettiva e con le condizioni di luce e di ombra, specialmente poi se si tratta di una figura ben nota, la mente si affretterà ad accettarla in quanto le ispira un concetto di realtà, anche se i suoi particolari potranno apparirle insoliti.

Lo « Pseudoscopio », descritto da Roger Hayward

È possibile indagare su alcuni almeno dei limiti entro i quali la mente tende ad accettare delle informazioni errate che provengono loro dagli occhi ed a tale scopo si fa uso di uno strumento chiamato « pseudoscopio », uno strumento simile ad un binocolo, che godette di una pur breve popolarità poco tempo dopo che Sir Charles Wheatstone aveva inventato lo stereoscopio, all'inizio del XIX secolo. In figura 253, appaiono gli schemi di quattro versioni di questo strumento. In genere gli pseudoscopi alterano la maniera nella quale gli occhi presentano normalmente le informazioni al cervello incaricato poi di elaborarle. Talune versioni dello strumento invertono le posizioni ottiche degli occhi causando, in effetti l'osservazione da parte dell'occhio destro, di quello che dovrebbe essere osservato dal sinistro e viceversa.

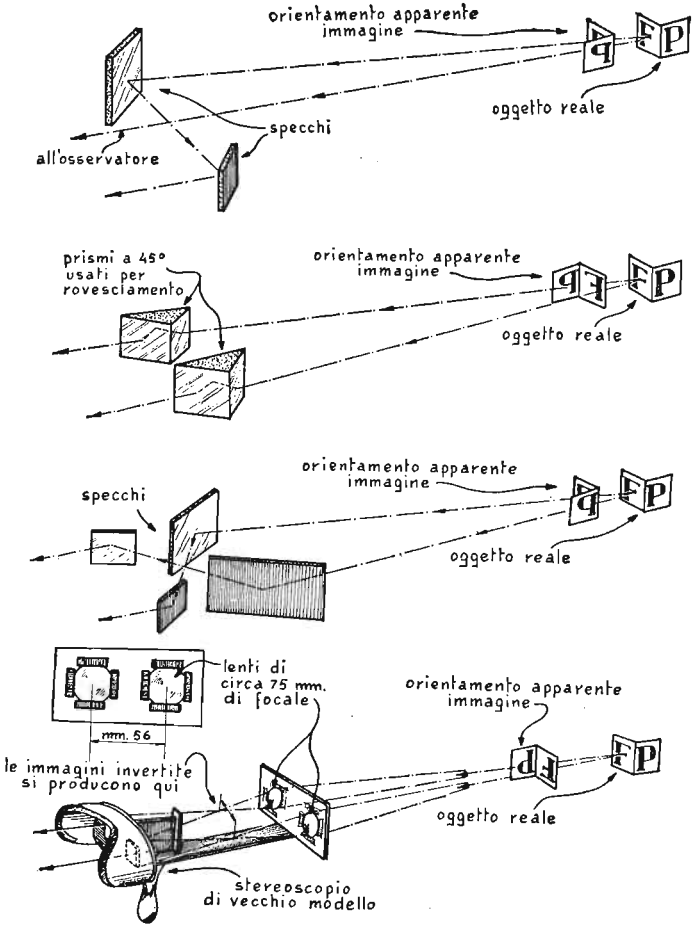
Altri cambiano questa inversione del punto di osservazione con un'inversione della immagine, esagerano lo spazio effettivo esistente tra gli occhi e via dicendo.

Uno pseudoscopio può essere facilmente realizzato tenendo in mano due specchietti, uno dei quali leggermente a sinistra rispetto all'occhio sinistro e l'altro di fronte all'occhio destro. Gli angoli ai quali gli specchi sono trattenuti dovrebbero essere tali per cui l'immagine riflessa da quello di sinistra fosse diretta all'occhio destro grazie allo specchio situato, appunto a destra.

In effetti questo causa all'occhio destro di vedere da una posizione alquanto spostata a sinistra rispetto alla posizione stessa occupata dall'occhio sinistro.

Il difetto di questa disposizione sta nel fatto che il percorso ottico per l'occhio destro è più lungo di quello per il sinistro; ne deriva che l'immagine presentata all'occhio destro risulta di dimensioni più piccole del normale e, comunque, di dimensioni minori di quella presentata all'occhio sinistro.

Per oggetti alla distanza di 3 o più metri, la differenza delle dimensioni dell'immagine ha poche conseguenze, per un fatto curioso secondo il quale un'osservazione bioculare può essere ancora soddisfacente quando le due immagini differiscono notevolmente, oppure sono distorte. In conseguenza dell'inversione



253. Quattro schemi semipratici di pseudoscopi.

delle immagini presentate ai due occhi, si avrà un'interessante inversione dell'effetto di rilievo, specialmente quando gli specchi saranno regolati in modo che l'immagine riflessa due volte si fonda con quella che non subisce riflessioni e che si vede con l'occhio sinistro. La disposizione ottica di uno pseudoscopio di questo genere è quella che appare dal particolare in alto della fig. 253.

Altre versioni dello pseudoscopio possono essere realizzate con prismi, con due serie di coppie di specchi, od anche montando due lenti a corta focale su di un visore stereo nel punto dove di solito viene posta l'immagine. Nel secondo, nel terzo e nel quarto particolare della fig. 253, sono illustrate appunto le disposizioni ottiche di questi sistemi di pseudoscopi.

I supporti per le parti ottiche non debbono davvero essere complessi: io mi sono limitato a disporre i prismi del secondo sistema tra due pezzi di legno, tenendo insieme il complesso con anelli di gomma elastica. Gli specchi della terza disposizione possono anche essere immobilizzati con ceralacca su di una tavoletta e quindi essere regolati per l'ottenimento della visione desiderata, quando ancora la cera sia molle e cedevole, operando quindi con la massima rapidità.

Martin Gardner, che cura la redazione della sezione *Giuochi Matematici* sulla rivista *Scientific American*, aveva richiamato per la prima volta la mia attenzione verso lo pseudoscopio-stereoscopio rappresentato nel quarto particolare, in basso, della fig. 253 e mi aveva anzi suggerito un interessante esperimento da eseguire con esso: quello cioè di osservare l'illusione di una piccola sfera mentre rotolava nell'interno di una coppa dal fondo sferico. Senza alcuna ombra atta a dare impressione di prospettiva, la mente accetta alla perfezione questa inversione: lasciata andare al bordo della coppa, la sfera sale su un lato di quello che sembra il bordo di un bastione, rotola in basso dalla parte opposta e quindi prontamente torna indietro. Infine, dopo un numero di oscillazioni di ampiezza via via decrescenti, si ferma, sostando come per riposare, sulla sommità del bastione stesso.

Motori termici in miniatura, di Mackay

R. Stuart Mackay, dell'Università della California, richiama l'attenzione su di un'interessante proprietà presentata dalle piastrine per accendisigari. Alla temperatura ambientale esse risultano infatti fortemente attratte da una calamita permanente mentre, non appena vengono portate ad una temperatura di solo 125 gradi centigradi, divengono di colpo non magnetiche; in effetti, esse presentano la proprietà della bistabilità rispetto alla temperatura ed al magnetismo.

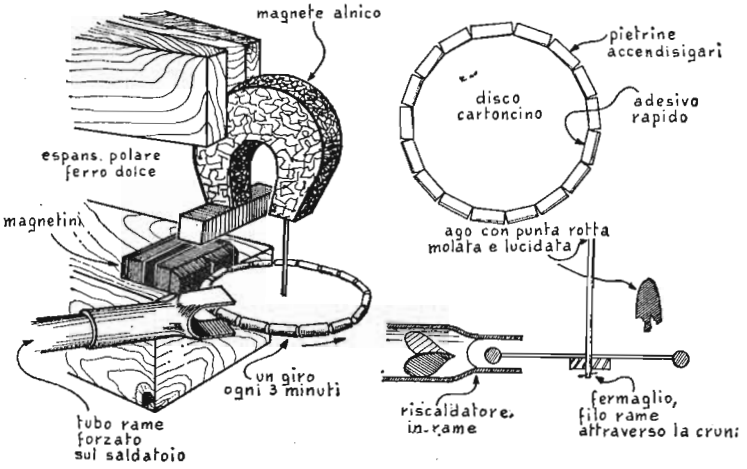
Ne deriva che esse possono essere usate come elementi attivi di un nuovo tipo di motore termico. Per esempio, un certo numero di queste piastrine (è stato constatato che l'elemento attivo del fenomeno è il cerio metallico che esse contengono) può essere applicato al fondo di un pendolo ed essere eccitato focalizzando su di esso un fascio di radiazione infrarossa, proprio nel punto più basso dell'oscillazione.

Un magnete piuttosto potente deve poi essere situato in questo punto al disotto delle pietrine ad una altezza alla quale esse giungano quasi a toccarlo. Una volta avviato, il pendolo continua ad oscillare per tutto il tempo durante il quale la radiazione infrarossa viene applicata al sistema. Dato che le pietrine sono riscaldate proprio al punto più basso dell'oscillazione del pendolo, esse risulterebbero fortemente attratte dal magnete durante il tratto della loro oscillazione in cui esse si sposterebbero appunto in direzione del punto più basso in questione mentre, essendo più calde nel loro percorso dal punto più basso a quello più alto della oscillazione stessa, risulterebbero meno attratte.

È evidente che un vero e proprio trasferimento di energia si verifica dal fascio di radiazione infrarossa al pesetto del pendolo. Mackay suggerisce che l'effetto può anche essere applicato ad un altro congegno in grado di trasformare il calore in movimento rotatorio, fissando un certo numero di pietrine sul bordo di un disco ben centrato ed equilibrato imperniato in modo da poter ruotare sul suo asse.

Una sorgente di calore ed un magnete debbono essere disposti in posizione affiancata, abbastanza vicini, su di un lato del disco. Un motore di questo genere è stato costruito da Roger Hayward che riferisce che esso non gira molto rapidamente; egli infatti dovette creare una specie di supporto a bronzina magnetica per riuscire anzi ad ottenere la rotazione del congegno che risultò pertanto realizzato secondo lo schizzo della fig. 254; il dispositivo il cui disco appare anzi in grandezza naturale prevede l'impiego di 18 pietrine ed ha come mezzo di riscaldamento uno speciale elemento realizzato con un saldatoio elettrico ed un pezzo di tubetto di rame.

L'asse di rotazione del motore è un normale ago da cucire rotto in prossimità del suo centro. L'estremità appuntita viene scartata mentre viene utilizzata la parte opposta, ossia quella



254. Motore termico realizzato con pietrine di accendisigaro e magneti permanenti.

dove si trova la cruna; il metallo viene arrotondato e lucidato nel punto della rottura.

Nella cruna si inserisce un corto pezzetto di filo di rame, nella funzione di fermo, che trattiene una piccolissima rondella di plexiglass che poi sostiene un disco rotante. L'estremità rotta ed arrotondata dell'ago, viene quindi sostenuta, appesa all'espansione polare di un piccolo ma potente magnete permanente di Alnico, trattenuto nella posizione illustrata.

Le pietrine sono ancorate al bordo del disco rotante con piccole gocce di adesivo reso più fluido con un poco di acetone. L'energia che fa funzionare il motore deriva da un saldatoio elettrico sulla cui testina calda viene applicato un pezzo di tubetto di rame, fessurato, all'estremità opposta, in maniera da crearvi una specie di boccaglio.

Il magnete che esercita la forza contrastante a quella del calore consiste di una coppia di barrette di Alnico ricuperate da un vecchio portacenere magnetico per auto; è indispensabile che i poli Nord di entrambi i magneti abbiano lo stesso orientamento, pena l'annullarsi della loro forza magnetica; i magneti sono poi tenuti insieme con un elastico.

Questo complesso è disposto vicino alle pietrine in modo da riuscire ad attrarre il disco e deviare di 5 gradi dalla verticale, il suo asse rappresentato dall'ago. L'imboccatura del tubo applicato sul saldatoio deve essere ugualmente avvicinata allo stesso punto evitando però di toccare le pietrine o qualsiasi altra parte, dato che per il suo elevato calore potrebbe danneggiarle.

Una volta che il calore è applicato e che siano stati eseguiti eventuali ritocchi, il disco prende a ruotare sia pure in modo irregolare alla velocità di circa un giro ogni tre minuti.

Hayward si diletta ad armeggiare con congegni vari, intesi a dimostrare i princìpi fondamentali della scienza. Recentemente ha costruito due versioni di un motore termico ad anelli di gomma, allo scopo di dimostrare come un sistema divenga via via più sensibile alle forze esterne, in misura che si avvicina alle condizioni di stabilità.

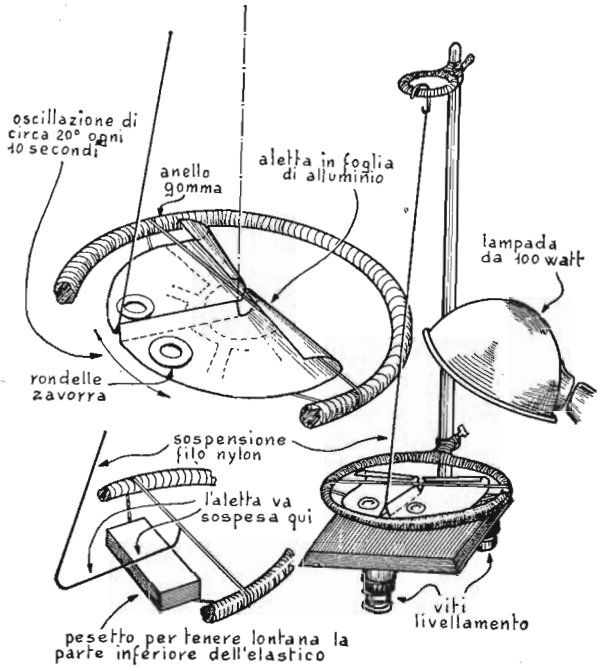
Roger W. Hayward descrive i suoi motori termici ad anello di gomma

Una semplice maniera per dimostrare questo concetto è quella di considerare il caso di due cilindri di diametro diverso, in piedi su una delle loro estremità. È evidente che occorre uno sforzo inferiore quando si tratta di fare ribaltare il cilindro più stretto: in generale, quanto più sottile è il cilindro, tanto più esso si avvicina alle condizioni interessanti.

Da un cestino che può essere un semplice portaverdura o qualche cosa di simile, un pezzo di foglia di alluminio viene sospeso ad un filo, v. fig. 255; la foglia o pesetto del pendolo può ruotare rispetto al suo punto centrale che risulta collegato ad un filo di gomma elastica piuttosto teso.

La foglia di alluminio viene arricciata ai suoi bordi per coprire e proteggere dalla luce il filo di gomma e quindi anche dalla radiazione calorifica di una lampada accesa al disopra del sistema, occorre però accertare che la foglia di alluminio non giunga mai in contatto con la gomma stessa.

Si ruota ora il pezzo di foglia verso sinistra e ciò facendo si lascia scoperta la parte di sinistra del filo di gomma. Riscaldata dalla lampada, questa parte si contrae. La punta del perno ruota allora leggermente verso destra.



255. Apparato atto a dimostrare gli effetti della semi-instabilità.

La porzione arricciata del pendolo torna allora a coprire la porzione di filo di gomma che era stata riscaldata e, per la stessa rotazione della foglia di alluminio, risulta scoperta e quindi esposta al calore della lampada l'altra parte del filo stesso, che sino ad ora era rimasta in ombra.

Ha così inizio la seconda metà del ciclo; simmetrico al primo. ma in direzione opposta. Se ben regolato e, soprattutto, se ben proporzionato, il sistema funzionerà con delle oscillazioni della foglia di alluminio ad un ritmo di 13 al minuto circa; le oscillazioni avranno un'ampiezza di 10 gradi ciascuna.

Io stesso ho provato ad osservare lo spostamento del perno inferiore con un piccolo telescopio: ove questo si verificava, il movimento doveva essere molto piccolo, dell'ordine di un quarantesimo di millimetro, in quanto tale movimento anche ad un'osservazione accurata, non risultava percettibile.

Eccezion fatta per il sistema di viti per il livellamento, che debbono essere capaci di regolazioni veramente fini, il resto dell'apparato è molto semplice da costruire. La foglia di alluminio può essere ricavata da quelle sottili teglie che si usano una sola volta per la cottura di dolci in forno; tale materiale oltre a possedere le altre caratteristiche necessarie ha anche il vantaggio di potersi tagliare secondo i contorni voluti, con precisione, con forbicine da ricamo.

L'aletta o pesetto del pendolo è bilanciata sul filo facendo scorrere le rondelle avvicinandole od allontanandole dal filo stesso; una semplice struttura in legno bene stagionato può essere facilmente costruita con una sega od anche con l'aiuto di un temperino. Il filo, mercerizzato, deve essere del tipo A, di quello cioè che viene venduto nella confezione di 300 metri o 300 yards per rocchetto.

A parte il fatto degli effetti della stabilità, suppongo che le due lezioni che debbono essere imparate dall'esperimento debbono essere, prima, quella della relazione di fase esistente nel sistema, e seconda quella del sorprendente comportamento della gomma quando essa viene sottoposta a variazioni di temperatura.

La forza di pilotaggio per qualsiasi oscillatore deve essere fuori fase rispetto allo spostamento, possibilmente di un angolo di 90 gradi. Nel caso della sospensione di un sismografo, che ricorda quando viene osservata in profilo il n. 4, v. fig. 103, l'inerzia del pendolo più il ritardo del tempo impiegato nel riscaldamento della gomma combinati risultano nella misura di 90 gradi.

Viene poi da chiedersi qualcosa in ordine alla proprietà che presenta la gomma quando viene riscaldata. Diversamente dalla maggior parte dei materiali, nel caso della gomma piuttosto tesa, quando essa viene riscaldata, la sua tensione aumenta sino ad un certo punto.

Alcuni anni addietro discussi questo argomento con Linus Pauling ed egli mi disse che la gomma, quando viene tesa, si potrebbe raffigurare come un fascio di catene distese, con il calore che le scuote. Quanto più fortemente queste catene sono scosse e sollecitate dall'agitazione termica, tanto più queste catene e quindi la gomma che le rappresenta, tendono ad eserci-

tare una tensione alle proprie estremità dove essa è ancorata per essere mantenuta distesa.

In conseguenza, una striscia di gomma distesa, quando viene riscaldata moderatamente, tende a divenire più corta e più grossa, proprio come fa un muscolo mentre esercita una trazione: proprietà questa che suggerisce un numero infinito di esperimenti.

A quanto io sappia, questa particolare forma di pendolo fatto funzionare da una specie di motore termico di gomma è nuova; essa potrebbe essere usata come termometro, e misurare la temperatura assieme ai movimenti terrestri. Morale: è facile rendere più sensibile qualsiasi dispositivo, se non ci si preoccupa di quante cose si misurano contemporaneamente; ma se il problema è quello di distinguere i vari elementi presenti nella massa di informazioni e misurarne una sola, l'impresa diviene assai più difficoltosa da attuare.

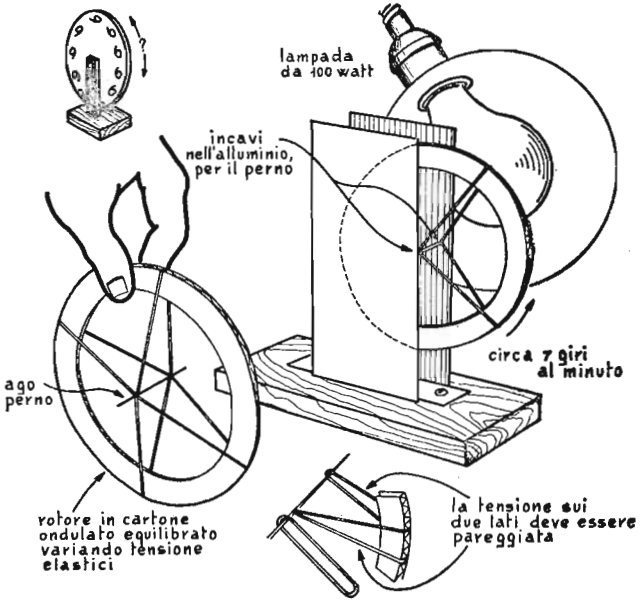
Il secondo sistema, v. fig. 256, mostra lo stesso principio, applicato però ad un congegno che converte il calore in un movimento rotatorio. L'anello della ruota è tagliato in cartone ondulato od in altro materiale altrettanto resistente e leggero, con l'aiuto di un temperino affilato ed appuntito o di una forbicina da ricamo.

L'anello sostiene dei raggi rappresentati da anelli di gomma i quali, a loro volta, s'impegnano al centro dell'anello in un ago sottile utilizzato nella funzione di albero e di perno.

Occorre montare questo complesso tra due lastre di alluminio sottile. Per fare entrare in funzione tale motorino, il che in seguito avvenne perfettamente e con regolarità, avevo dovuto impiegare ben 40 minuti nella ricerca del perfetto equilibrio della ruota e del centraggio dell'albero, rispetto ad essa.

Altra impresa alquanto difficoltosa è poi quella della regolazione, allo scopo di renderla uniforme, della tensione di tutti gli anelli di gomma, vale a dire di tutti e quattro i raggi della ruota: l'ago che serve da perno tende infatti a ruotare lateralmente ed a lasciar sfuggire qualcuno degli elastici ed ogni volta è giuocoforza ricominciare dal principio l'impresa dell'applicazione degli elastici, prima ancora di quella della centratura.

Ad ogni modo si tratta di regolare la tensione degli anelli sino a quando la ruota non risulti equilibrata in qualsiasi posizione e ruoti liberamente. L'operazione del bilanciamento, co-



256. Motore termico mosso da anelli di gomma riscaldati alternativamente.

munque, non è molto difficoltosa. Se la ruota continua ad arrestarsi sempre in una posizione, è segno che essa non è bene equilibrata: si tratta pertanto di variare leggermente la posizione degli elastici sino a correggere questo decentramento.

A questo punto si eccita il dispositivo con una lampada da 50 watt accesa e disposta con il suo riflettore nella posizione illustrata in fig. 256, ossia di fronte alla ruota nel punto di questa che risulta appena scoperto dalle due lastrine di alluminio: se ben funzionante, la ruota compirà circa sette rotazioni al minuto.

Alla nuova generazione alla quale piacerebbe però avere a disposizione una ruota pronta a girare da sola senza una sorgente esterna di energia e senza mai fermarsi, posso invece presentare la classica macchina per il moto perpetuo funzionante sulla sola dialettica, il cui schema è illustrato nel particolare in alto a sinistra della stessa fig. 256.

Il suo principio di funzionamento sta nel fatto che i numeri 6

divengono altrettanti numeri 9, mentre la ruota gira, in quanto ne risultano capovolti e questo fa pensare che la parte dalla quale si possono leggere i numeri 9 sia più pesante di quella dei numeri 6, dal che deriva la rotazione continua della ruota; rimane comunque il problema di come questo aumento dello sbilanciamento semplicemente grafico o dialettico, piuttosto che materiale, possa determinare la rotazione in senso antiorario del disco: dubito però che io stesso o chiunque altro dopo di me riuscirà a fare il punto su questa situazione.

X.

UN PROBLEMA PER CONCLUDERE

Invito al dilettante a progettare i suoi stessi esperimenti

Dopo avere invitati i lettori, per tutta la durata del volume a ripetere alcuni degli esperimenti classici aventi lo scopo di separare i fatti e la realtà dalla fantasia, non possiamo che concludere con una nota d'invito a tutti perché progettino essi stessi gli esperimenti da effettuare.

In generale occorre disporre, all'inizio, di due requisiti: una serie interessante di osservazioni in precedenza fatte ed un problema perfettamente definito. Da questi elementi è possibile tracciare una teoria e quindi progettare uno o più esperimenti intesi ad accertare il valore di questa ipotesi.

All'inizio, si consideri il piccolo e piacevole rompicapo che venne sottoposto ai lettori della rivista Scientific American da Ernest Hunter Wright, direttore della sezione di Inglese dell'Università della Columbia, ora a riposo. Molti lettori rilevarono delle teorie in relazione a questo problema e sottoposero le loro ipotesi logiche al dottor Wright, ma nessuno, che io sappia, aveva spinto le sue ricerche così avanti nella forma di un esperimento rigorosamente controllato; per questo, il rompicapo deve ancora considerarsi come non risolto.

Eccolo dunque esposto con le parole dello stesso compilatore, una sfida al talento scientifico del lettore.

E. H. Wright presenta il giuoco delle pietre saltanti

Con la fortuna che può a volte arridere solo ad un profano ho avuto l'insolita esperienza di vedere molti degli uomini che indagano a fondo sui misteri dell'atomo impegnati invano alla ricerca della soluzione di un problema che ora ripropongo ad un più vasto pubblico di possibili solutori.

Noi tutti sappiamo cosa accade quando gettiamo, molto bassa, una piccola pietra al disopra di una superficie di acqua abba-

stanza calma: crediamo che essa compia una serie di salti sul pelo dell'acqua via via più brevi e frequenti sino a quando, persa tutta la sua energia, si ferma e si immerge definitivamente.

Naturalmente, il numero e la lunghezza dei salti varia ogni volta, in funzione delle effettive condizioni di regolarità della superficie dell'acqua, della forma e delle dimensioni della pietra, della velocità alla quale la pietra stessa si muove al momento del lancio e dell'abilità del lanciatore, oltre che in funzione di altre condizioni ma, ad ogni modo, la pietra sembra comportarsi come ho detto.

Sono quasi certo però che in effetti la pietra non si comporti in questo modo. Lo penso perché so che non si comporta così sulla sabbia, ossia su di una superficie di sabbia umida e compatta come si trova sulla riva delle spiagge marine. Mi sia dunque permesso di riferire su come la pietra stessa si comporta sulla sabbia e sul modo nel quale io sia riuscito a conoscere questo comportamento.

Lo scoprii nel corso di una lunga passeggiata lungo la spiaggia, durante la quale avevo continuato a gettare piccole pietre sulla superficie dell'acqua (gradirei, a proposito che qualcuno mi spiegasse perché le pietre sono sempre piuttosto appiattite, invece che sferiche ed a questa domanda, nessun geologo mi ha data una risposta soddisfacente). Poiché il movimento alternativo dell'acqua sulla riva era molto irregolare, decisi di indagare sul come una piccola pietra si sarebbe comportata se gettata sulla sabbia umida e compatta nelle stesse condizioni come sull'acqua. Tra l'altro, sulla sabbia, la pietra avrebbe anche lasciato dei piccoli segni del suo percorso.

Quando vidi i segni lasciati sulla sabbia dalla prima pietra che gettai in queste condizioni penso che mi meravigliai nella stessa misura del buon Robinson Crusoè nel trovare sulla sabbia dell'isola, le prime orme del piede del suo servo, Venerdì.

Il primo salto compiuto dalla pietra aveva una lunghezza di 10 centimetri solamente, mentre il successivo era lungo addirittura 210 centimetri. A questo, seguì un altro salto di 10 centimetri a sua volta seguito da uno di poco meno di 210 centimetri. Al terzo salto di 10 centimetri ne seguì uno da 150 centimetri, poi, sempre intercalati da piccoli salti della lunghezza di 10 centimentri, altri salti lunghi, sia pure a lunghezza decrescente.

Ognuno dei piccoli salti era senza dubbio contrassegnato da due piccoli segni sulla sabbia. Dopo la settima ripetizione di questa specie di periodo alternato, la piccola pietra cessò il suo strano comportamento e si mise a compiere altri piccoli salti di lunghezza decrescente sino a quando non si fermò del tutto. Il numero totale di salti compiuto in media dalla pietra sulla sabbia compatta ed umida, fu di circa 20.

Continuai a lanciare altre pietre per tutto il pomeriggio, mentre percorrevo dei chilometri sulla spiaggia: ripetendo le prove con varie forme e dimensioni delle pietre, con i vari profili della superficie della sabbia sulla quale eseguivo i lanci e con diversi angoli di inclinazione rispetto alla superficie della sabbia, fatti assumere alla pietra al momento del lancio.

Provai tutte le variazioni possibili che mi potevano venire alla mente ed il giorno successivo continuai le prove in questo senso: senza una sola eccezione, il risultato era sempre quasi lo stesso, con pochissime differenze spiegabilissime.

Ora, io suppongo che la stessa cosa accada anche nell'acqua, sebbene manchino, quando si esegue una prova di questo genere nell'acqua, i segni che la pietra lascia, invece, sulla sabbia. Una ripresa della scena con una macchina cinematografica potrebbe dare la risposta a questo interrogativo; comunque nelle tracce della sabbia è scritta una storia, affascinante come quella delle orme lasciate sul terreno da qualche animale.

Sino ad ora, non dispongo di alcuna spiegazione a quello che ho potuto constatare; per questo ho presentato il problema a diversi fisici di chiara fama, ma da essi mi è addirittura mancata una risposta: ora, pertanto, mi sto chiedendo se esista veramente o meno una risposta a questo mio interrogativo ed in caso positivo vorrei sapere chi sia in grado di darmela questa risposta.

Ritengo comunque doveroso segnalare altri due o tre fatti che potrebbero forse facilitare coloro che vorranno accingersi ad una ricerca della soluzione di questo mio problema. Il primo riguarda i segni doppi lasciati dalle pietre in corrispondenza del salto dei 10 centimetri, che sembrano lasciati dalle pietre che si capovolgono, eppure posso affermare, anche dalle statistiche accumulate da me e dalle osservazioni di altri miei amici, che le pietre stesse non si rovesciano.

Un altro fatto è che la pietra, urtando contro la sabbia in una posizione inclinata, la colpisce prima con il suo bordo posteriore, quindi a seguito di un piccolo rimbalzo si alza con tale bordo mentre si abbassa con quello anteriore, che va a colpire la sabbia alla distanza di 10 centimetri, quindi, da questo punto, si trova leggermente ancorata a terra con il suo bordo anteriore e per la sua inerzia intraprende un salto di entità assai maggiore.

Questa ipotesi comunque dovrebbe fare pensare ad un rigoroso calcolo della inclinazione della pietra durante il suo volo, ma questo non sembra davvero accettabile se si pensa la grande diversità delle maniere nella quale le prove sono state condotte; inoltre, anche se così fosse, perché lo stesso comportamento e la stessa ampiezza dei salti si constatano anche in pietre di proporzioni e di forme diversissime? In più dalla forma dei segni lasciati dalle pietre sulla sabbia non si può che rilevare che le pietre colpiscono solitamente il suolo non di taglio, ma con una intera faccia.

La sola altra supposizione che la pietra ruoti sul suo asse verticale può costituire una spiegazione almeno parziale al suo strano comportamento.

Eppure, il perché questa rotazione dovrebbe portare a quello strano risultato non mi è apparso chiaro anche per il fatto che prove successive fatte gettando le pietre senza impartire loro assolutamente alcuna rotazione assiale o di altro genere hanno permesso di constatare che, anche questa volta, le pietre stesse hanno lasciato le loro strane impronte sulla sabbia.

Invito dunque gli studiosi di scienza, professionisti e dilettanti, a fare qualche ricerca in questo senso, magari portando sulla spiaggia la necessaria attrezzatura per i vari rilevamenti e spero che qualcuno mi aiuterà nella soluzione di questo insolito interrogativo. Naturalmente sarò ben lieto di partecipare alle prove ed agli esperimenti, apportando quella esperienza che mi è venuta dalla ripetizione continua delle prove da me fatte.

Non è detto che questo sia l'unico problema rimasto insoluto per i ricercatori, ma esso può rappresentare un piacevole diversivo per chiunque, dato che, oltre che a problemi di fisica, contiene riferimenti alle matematiche ed alla logica.

INDICE DEI NOMI E DEGLI ARGOMENTI

Abitazioni indiane (archeologia), 130.
Abrasivi. Distributore per –, 11.
Abrasivi per molatura specchi (serie), 9.
Acceleratore. Tubo per –, 461.
Acceleratore di particelle, 458-482.
Acceleratore elettrostatico, 647.
Acceleratore lineare (costruzione), 458.
Accoppiamento dei colibrì, 250.
Accoppiamento dei lepidotteri, 256.
Accoppiamento dei lepidotteri (tavoletta per), 256.
Acetone, 200.
Acqua, 200.
Acquario. Ghiaino per –, 285.
Acquario per rettili, 287.
Adsorbenti per cromatografia, 200.
Aerodinamica, 549-611.
Aerodinamica (esperimenti in vasca), 583-596.
Aerodinamica (semplici esperimenti), 550.
Aeroelasticità, 582.
Aeromodelli per interno, 553.
Agamide africana, 289.
Alare. Sezione –, 554.
Albumina. Colorazione della –, 227.
Alcool etilico, 200.
Alette per razzi, 606.
Alfa. Particelle – (decadimento), 442.
Alfa. Particelle – (identificazione), 438.
Alfa. Particelle – (misura energia), 441.
Alfa. Particelle – (tracce), 421.
Alghe. Coltivazione delle –, 159-168.
Alghe. Raccolta delle –, 159.
Ali di farfalle (iridescenza), 592.
Ali flessibili (dinamica del volo), 582.
Alimenti. Coloranti per – (analisi elettroforetica), 220.
Alimento artificiale per colibrì, 236.
Allumina attivata, 200.
Alluminiatura di specchi, 20.
Alluminio, 301.
Alte tensioni (produzione), 459.
Ampiezza dei terremoti, 316.
Amplificatore a bassa frequenza, 326.
Amplificatore elettromeccanico per tunnel a vento, 558.
Amplificatore per sismografo elettronico, 326.
Analemma, 103.
Anatra a codalunga, 272.
Anatra domestica, 272.
Anelli di Newton, 694.
Anelli equipotenziali, 464.
Anello di Charron (stabil. pendolo Foucault), 392.
Anemometro, 556.
Anfibi, 277-292.
Anidride carbonica nell'aria, 190.
Antheraea mylitta, 254.
Antibiotici, 150.
Apatite, 299.
Ape (velocità del volo), 245.
Apertura. Piccola – (vantaggi nei telescopi), 40.
Apiezon. Cera –, 466.
Aquila americana, 274.
Arcaica. Occupazione –, 124.
Archeologia, 115-136.
Area (archeologia) 129.
Area irregolare (metodo di misura), 533.
Argento, 301.
Argyll, duca di, 244.
Aria. Contenuto di CO_2 nell' –, 190.
Aria (flusso alle basse velocità), 556.

Aria (formula per velocità del flusso), 580.
Ariete a mercurio, 480.
Aristotele, 615.
Armillare, 101.
Arresto. Potenziale di – (per le gocce d'olio), 500.
Arsenico. Odore di –, 304.
Artesiani. Pozzi –, 347.
Assawompsett (archeologia), 122.
Assi magnetici. Direzione degli –, 447.
Associazione Americana Marcatura Uccelli, 267.
Astrolabio, 357.
Astronomia, 3-100.
Astrospettrografo, 49.
Atlas Attacus (insetto), 254.
Atmosfera, 376.
Atmosfera. Stabilità ottica della –, 337.
Atmosfera stellare (rilevamento), 81.
Atmosferiche. Scariche –, 376-383.
Atomi. Disintegratore di – (autocostruzione), 458-482.
Atomi. Esperimenti con gli –, 402.
Audiofrequenza. Oscillatore ad –, 355.
Aureomicina, 150.
Aurora boreale in miniatura (produzione), 653.

Bachelite. Conduttività elettrica della –, 660.
Bachi da seta selvatici, 254.
Bacitracina, 150.
Baco da seta gigante Tussah, 254.
Bacone, Ruggero, 617.
Balsamo del Canadà, 622.
Barattolo. Camera a nebbia a –, 408.
Barometrica. Pressione –, 350.
Barriera del suono, 552.
Barriera di cera (per particelle alfa, in camera a nebbia), 444.
Baseball. Palla da – (aerodinamica del volo), 550.
Batteri. Brodo di coltura per –, 139.
Batteri. Contaminazione delle colture di –, 149.
Batteri, grampositivi e gramnegativi, 624.
Batteri innocui (coltivazione), 139-158.
Batteri non patogeni, 147.
Batteria a secco (prova della scarica), 607.
Batteria solare, 342.
Batteriostasi. Esperimenti di –, 148.
Beccheggio (aerodinamica), 585.
Benzolo, 200.
Beta raggi (tracce), 421.
Bidimensionale. Cromatografia –, 204.
Bilancia a torsione (automatica), 556.
Bilancia Jolly, 301.
Biologia, 139-230.
Bobina Oudin, 665.
Bobina per sismografo, 324.
Bolle di sapone (iridescenza), 692.
Borato, 298.
Breeder. Reattore –, 296.
Brillamento stellare (soppressione), 35.
Britannica. Società Interplanetaria –, 598.
Brodo di coltura (alghe agar), 143.
Brodo di coltura disidratato, 143.
Brodo di coltura (ricetta), 143.
Brodo di coltura (soluzione idroponica), 165.
Bruco più grande del mondo, 254.
Buffer. Soluzione –, 179.
Bunker per poligono lancio missili, 603.
Bunsen. Bruciatore –, 618.
Buste per specimen di insetti (confezione), 260.

Caduta libera della goccia d'olio (calcolo), 497.
Calamita naturale, 303.
Calce, 200.
Calcio. Carbonato di –, 200.
Calcio. Linee H e K del –, 68.
Calcite, 299.

Calcolo integrale (commenti), 616.
Calendario. Variazioni nel –, 90.
Calliope. Colibrì –, 235.
Calore, 683-729.
Camaleonte da circo, 291.
Camera a nebbia a barattolo, 408.
Camera a nebbia a diffusione, 421-426.
Camera a nebbia a pistone di gomma, 415.
Camera a nebbia a vaso di vetro Erlenmeyer, 414.
Camera di combustione di missili-modelli, 606.
Camera per manipolazioni biologiche (costruzione), 140.
Camere a nebbia, 406-444.
Camere a nebbia. Elettromagnete per –, 431.
Camere a nebbia. Nebulosità nelle –, 419.
Camere a nebbia. Tracce di raggi gamma nelle –, 444.
Campo. Piastra di – (per generatore elettrostatico Varley), 643.
Campo elettrico per precipitazione in camere nebbia, 420.
Campo elettrico terrestre, 368.
Campo elettrico terrestre. Intensità del –, 369.
Campo elettrostatico. Intensità del –, 636.
Campo magnetico nelle camere a nebbia, 430.
Campo magnetico nucleare, 446.
Campo terrestre. Inversione polarità del –, 379.
Cannello ferruminatorio (prova minerali), 305.
Carbonato, 298.
Carbone di legna, 200.
Carbonio bisolfuro, 200.
Carbonio tetracloruro, 200.
Cardinale. Uccello –, 270.
Carica elettrostatica, 639.
Carica elettrostatica (distribuzione), 646.
Caroteni, 198.
Carrol, Padre Joseph, 348.
Cellula fotovoltaica, 342.
Cera. Barriera di – (per particelle alfa), 444.
Cera Dennison, per alto vuoto, 466.
Cera Khotinsky, per alto vuoto, 466.
Cera per alto vuoto (preparazione), 466.
Cera Piceina, per alto vuoto, 466.
Cerio. Caratteristiche magnetiche del –, 737.
Cervi volanti, 549-574.
Cervi volanti a scatola, 575.
Charron. Anello di – (per pendolo Foucault), 392.
Chimografo, 173.
Ciclotrone, 404.
Cinetica. Energia – (equazione), 442.
Cinghia. Azione della – (generatore elettrostatico), 649.
Cinghia. Velocità max della – (generatore Van de Graaff), 655.
Civiltà arcaica agricola, 125.
Cloromicetina, 150.
Clorpromazina, 169.
Cobalto, 304.
Codalarga. Colibrì – , 235.
Coefficiente di sostentamento (aerodinamica), 560.
Colibrì, 234-252.
Colibrì. Alimento artificiale per –, 236.
Colibrì. Bottiglia per alimentazione dei –, 236.
Colibrì. Densità della popolazione dei –, 239.
Colibrì. Durata della vita dei –, 252.
Colibrì. Fotografia dei –, 241.
Colibrì. Metabolismo dei –, 237.
Colibrì Rufo, 235.
Colonna cromatografica, 197.
Colonna cromatografica (incolore), 206.
Colonna d'aria sul telescopio (dimensione), 38.
Colorante di Wright, 179.

Colture con soluzioni idroponiche, 166.
Colture di batteri innocui, 139-158.
Colture in acqua arricchita, 162.
Compressore di frigorifero (usato come pompa a vuoto), 469.
Condensazione. Nuclei di – (nelle camere a nebbia), 413.
Contagocce di Kelvin (misurazione della carica elettrica della terra), 370.
Contatore a coincidenza per scariche atmosferiche, 379.
Conteggio. Regime di – (scariche atmosferiche), 379.
Controllo. Capsule di – (incubazione), 152.
Controreazione nel movimento elettronico dei telescopi, 47.
Copernico, Nicola, 387.
Corona. Elettrodi – (per generatore elettrostatico), 643.
Correnti parassite (prova), 556.
Corteggiamento dei colibrì, 245.
Corteggiamento dei rettili, 278.
Corundum, 299.
Cosmici. Raggi – (rivelazione nella camera a nebbia), 422.
Cottrell. Processo –, 212.
Cremazione. Reperti archeologici di –, 134.
Cristalli (minerali), 296.
Cristallina. Struttura – (nei minerali), 302.
Cristallografia, 616.
Cromatografia, 196-211.
Cromatografia a distribuzione, 214.
Cromatografia bidimensionale, 205.
Cromatografia (solventi), 200.
Cromatografia (sviluppo zone), 198-205.
Cumulonembi, 378.
Cutrettola (spiegazione del colore iridescente), 692.

Decadimento delle particelle alfa, 442.
Declinazione del sole, 107.
Dennison. Cera – (per alto vuoto), 466.
Densità dei minerali, 300.
Diaframma di cera (per camere a nebbia), 444.
Diaframma di pressione (per razzi), 605.
Diagonale. Specchietto – (per telescopio a riflessione), 8.
Diamante, 299.
Diatomee. Montatura delle –, 629.
Diatomee. Preparazione vetrini di – (microscopia), 625-629.
Diatomee fossili, 625.
Diavoletto di Maxwell, 684.
Dibutilftalato per vacuometri, 478.
Diffrazione. Reticolo di –, 52.
Diffusione. Camera a nebbia a –, 421.
Diffusione. Pompa a vuoto a –, 472.
Diffusore per tunnel a vento, 571.
Diidrostreptomicina, 150.
Dinamico. Sismometro –, 346.
Dipleidoscopio, 361.
Disegno stereoscopico (tecnica), 730.
Disintegratore di atomi (autocostruzione), 458-482.
Distribuzione casuale. Legge di Maxwell della –, 683.
Disturbi radio di origine meteorologica, 376.
Doppler. Effetto – (deriva frequenza), 354.
Droghe tranquillanti, 169.
Durezza dei minerali, 299.
Duttilità dei minerali, 300.

Ebert. Spettrografo di –, 55.
Elastico. Motori termici ad –, 740-745.
Elettricità statica, 635.
Elettrificazione per strofinio, 637.
Elettroforesi di zona, 212-230.
Elettroforesi di zona. Elettrolita per –, 220.
Elettroforesi libera (tecnica), 214.
Elettroforo (costruzione), 638.

Elettromagnete per camera a nebbia, 431.
Elettromagnete (determinazione della polarità), 437.
Elettrometro a quadranti, 371.
Elettrometro a valvola, 372.
Elettroni. Foto –, 373.
Elettroni. Identificazione degli –, 438.
Elettroni. Vortici di –, 447.
Elettroni (penetrazione nei solidi), 459.
Elettroni (trasferimento per frizione), 639.
Elettroni a debole adesione, 669.
Elettroni-volta (formula per conversione), 443.
Elettronico. Rinforzo – (delle immagini), 43.
Elettrostatica. Induzione –, 639.
Elica per tunnel a vento a bassa velocità, 556.
Eluente per cromatografia, 201.
Energia cinetica. Equazione della –, 443.
Energia cinetica. Equivalente della –, 443.
Energia media dei fulmini, 379.
Equatoriale a mezzaluna, 102.
Equazione del tempo, 107.
Eritromicina, 150.
Espansione. Fase di – (nelle camere a nebbia), 412.
Espansione. Rapporto di – (camere a nebbia Wilson), 413.
Esperimenti scientifici, 729-745.
Esposizione. Tempo di – (in fotospettrografia), 60.
Etere, 200.
Etilico. Alcool –, 200.

Farfalle (vedi anche Lepidotteri), 253-265.
Feldspato, 301.
Ferro, 304.
Ferro. Nitrato di – (effetti sulla risonanza nucleare), 448.
Ferro. Spettri di emissione del –, 60.
Ferruminatorio. Cannello – (analisi minerali), 305.
Fessura spettrografica. Illuminazione della –, 65.
Filetti liquidi (colorati), 577.
Filetti liquidi (esperimenti aerodinamica), 574-583.
Finestra per acceleratore di particelle, 465.
Flavoxantine, 198.
Flora marina (raccolta), 159.
Fluorescenza nei minerali, 302.
Fluorite, 299.
Flusso. Schema del – (aerodinamica), 566.
Flusso distaccato (aerodinamica), 591.
Focale. Lunghezza – (prova della), 13.
Focolari (archeologia), 129.
Formatura a freddo (contropezzo per specchi per telescopi), 18.
Forza elettrostatica, 637.
Fosfato, 298.
Fosforescenza nei generatori elettrostatici, 644.
Fossili. Diatomee –, 625.
Fotoelettrica. Cellula – (tempo di risposta), 79.
Fotoelettroni, 373.
Fotografia dei colibrì, 231.
Fotografia dei pianeti, 42.
Fotografia di tracce (nella camera a nebbia), 430.
Fotomoltiplicatore per la rivelazione della luce delle stelle, 76.
Fotomoltiplicatori. Tubi – (riduzione del rumore nei), 80.
Fotovoltaica. Cellula –, 342.
Foucault, Leon, 387.
Foucault. Pendolo di –, 388.
Frange di interferenza (ottica), 694.
Frenaggio. Coefficiente di – (aerodinamica), 560.
Frenaggio. Forze aerodinamiche di –, 557.

Frequenzimetro per tracking satelliti artificiali, 355.
Fresnel, Augustin, 695.
Fringuello, 270.
Frizione. Elettrificazione per –, 639.
Fronte freddo, 379.
Fulmine. Durata della scarica del –, 379.
Fulmine. Scarica principale del –, 377.
Fulmine pilota, 377.
Fuoco. Messa a – (nel microscopio autocostruito), 620.
Fumo. Generatori di – (per tunnel a vento), 572.
Fumo per tunnel a vento (produzione), 572.

Gabbia per misura attività degli animali, 172.
Gabbia per rettili, 283.
Galena, 297-303.
Galilei, Galileo, 4.
Gamma. Raggi – (tracce nella camera a nebbia), 443.
Gas. Indice di rifrazione del – (misurazione), 697.
Gas. Orologio ad assorbimento di –, 709.
Gel di silice, 200.
Generatori elettrostatici, 634-663.
Geometrica. Proiezione –, 729.
Germanio, 303.
Gesso, 299.
Getto. Propulsione a –, 595.
Getto elettrostatico, 652.
Ghiaia per acquari, 285.
Ghiandaia azzurra, 270.
Giardino. Lumache di – (alimento per rettili), 290.
Giuochi (oca e contadino), 508.
Giuochi (rimbalzo delle pietre), 749-752.
Giuochi elettrici (progettazione), 518-525.
Gnomone (progetto), 103.
Goccia d'olio. Carica elettrica nella – (calcolo), 499.
Goccia d'olio (esperimento di Millikan), 483-501.
Goccia d'olio (velocità terminale), 487.
Gomma. Anelli di – (caratteristiche termiche), 742.
Gomma. Anelli di – (motore termico), 741.
Gomma. Pistone di – (camera a nebbia), 415.
Gradiente di potenziale, 646.
Grampositivi e gramnegativi. Batteri –, 624.
Granito comune, 296.
Grassi per basse pressioni e per vuoto, 478.
Gravità specifica nei minerali, 301.
Gravitazione. Variazioni locali nella –, 72.
Gregory, James, 4.
Grilli (per alimento di rettili), 289.
Guericke, Otto von, 634.

Hele Shaw. Apparato di –, 574.
Helmholtz, R. von, 407.

Ibridi di lepidotteri, 256.
Idrocarburi. Irradiazione degli –, 460.
Idrocarburi. Molecole di – (legami incrociati), 460.
Idrodinamica, 583.
Idrogeno. Precessione nucleare dell' – (velocità), 447.
Idroponiche. Soluzioni –, 167.
Igiene. Problemi di – (rettili), 285.
Illuminazione fessura spettrografo, 65.
Illuminazione reticolo di diffrazione, 63.
Imbarcazioni da corsa (idrodinamica), 575.
Immagine. Rinforzo elettronico della –, 43.

Incolore. Colonna cromatografica –, 206.
Incubazione di colture batteriche, 148.
Induzione elettrostatica, 639.
Ingalls, Albert, 6.
Ingrandimento. Antichissima lente di –, 617.
Insetti. Montatura di specimens di –, 261.
Insetti. Svuotamento per conservazione di –, 263.
Integrale. Calcolo – (commenti), 616.
Interferenza. Frange di – (ottica), 694.
Interferenza ottica distruttiva, 695.
Interferometro (autocostruzione), 692-707.
Interferometro di Cave (costruzione), 697.
Ioni. Comportamento degli – (in campo magnetico), 430.
Ioni. Produzione per frizione degli –, 639.
Ioni spuri (nella camera a nebbia), 414.
Ionizzazione (tracce nella camera a nebbia), 407.
Irradiazione di idrocarburi, 460.
Itterizia nei ratti, 182.

Jolly. Bilancia –, 301.
Johnson, Samuel, 266.

Kelvin, Lord, 370.
Khotinsky. Cera – (per alto vuoto), 466.
Kunkle, H. G., 214.

L onde (sismologia), 313-332.
Labirinto per ratti, 173.
Lacune elettrostatiche, 649.
Laghetto Assawompsett, 122.
Laminare. Separazione – (aerodinamica), 566.
Lancio di missili modelli. Rampa di –, 604.
Lattea. Via –, 3.
L/D. Rapporto – (aerodinamica), 560.
Leadbetter, Charles, 93.
Leeuwenhoek, Anton Van, 618.
Legno. Conduttività elettrica del –, 660.
Lente di cristallo di rocca, 617.
Lente di ingrandimento. La più antica –, 617.
Lente sferica (preparazione), 618.
Lepidotteri, 253 265.
Lepidotteri. Acclimatamento dei – (tecnica), 256.
Lepidotteri. Accoppiamento dei –, 256.
Lepidotteri. Allevamento dei –, 260.
Lepidotteri. Raccolta dei –, 260.
Lepidotteri. Uccisione dei –, 260.
Lepidotteri ibridi, 256.
Ley, Willy, 597.
Leyda. Bottiglie di –, 641.
Libera. Elettroforesi – (tecnica), 214.
Limite. Strato –, 566.
Limite. Strato – (aerodinamica), 579.
Linee H e K del calcio (lunghezza d'onda), 68.
Linfociti, 179.
Linneo, 615.
Lippershey, Hans, 4.
Lissajous. Figure di –, 718.
Litio. Trasmutazione del – (in berillio), 459.
Logica. Circuiti elettrici di –, 506.
Logica simbolica. Circuito basato sulla –, 522.
Luce del cadmio (unità di misura), 693.
Luce del sodio (misurazione lunghezza d'onda), 704.
Luce diurna. Determinazione della durata della –, 95.
Lucertole, 278.
Lucidatura del vetro, 16.

Lumache di giardino (come alimento per rettili), 290.
Luna. Bordo della – (effetto di diffrazione), 75.
Luna. Dettagli della – (fotografia), 40.
Luna. Fotografia della – (in tre dimensioni), 109.
Luteine, 198.

Macchie solari. Spettri di –, 66.
Macchine matematiche, 505-546.
Macchine pensanti, 505.
Mach. Numero di – (aerodinamica), 594.
MacKay. Meccanismo di – (pilotaggio pendoli Foucault), 395.
Magnamicina, 150.
Magnesia, 200.
Magnesio, 301.
Magnesio. Carbonato di –, 200.
Magneti. Potenza dei – (determinazione), 452.
Magnetica. Rigidità –, 440.
Magnetici. Direzione degli assi –, 447.
Magnetico. Campo – (nella camera a nebbia), 430.
Magnetron. Oscillatore a –, 670.
Malleabilità dei minerali, 300.
Manipolazioni biologiche. Camera per – (costruzione), 140.
Manometro, 556.
Manometro ad estremità chiusa (costruzione), 476.
Mantello terrestre, 317.
Mappe antiche (uso in archeologia), 118.
Marcatura uccelli, 266-276.
Marcatura uccelli. Associazione Americana per la –, 267.
Mare. Flora del – (collezioni), 159.
Maree, 350.
Maree. Onde di –, 351.
Marte. Canali di – (difficoltà della fotografia), 37.
Martello per spezzare campioni minerali, 304.
Massa relativistica, 440.
Matematiche. Macchine –, 505-546.
Maxwell. Legge di – (sulla distribuzione causale), 683.
McLeod. Vacuometro di –, 477.
Mercurio. Ariete a –, 480.
Mercurio. Pompa a diffusione a –, 476.
Meridiana a globo, 91.
Meridiana ideale, 99-108.
Meridiana ornamentale, 101.
Meridiana universale, 91-99.
Mesoni (comportamento nella camera a nebbia), 438.
Metabolismo negli animali (misurazione), 186.
Metabolismo nel colibrì, 237.
Metamorfosi. Ricerche sulla –, 253.
Meteorologia fisica, 369.
Metilico. Alcool –, 200.
Mica, 300-616.
Michelson, A. A., 693.
Microamperometro, 372.
Microamperometro (autocostruzione), 467.
Microbarografo, 350.
Microfotografia, 630-633.
Microfotografia. Apparecchio per – (costruzione), 630.
Microscopia, 615-633.
Microscopio. Invenzione del –, 616.
Microscopio. Vetrini per – (preparazione), 622.
Microscopio. Vetrini per – (pulitura), 178.
Microscopio semplificato, 617.
Microsismi, 312-320.
Microtomo, 319.
Migrazione degli uccelli selvatici, 267.
Migrazione elettroforetica, 225.
Millikan. Esperimento di – (della goccia d'olio), 483.
Millikan, Robert A., 483.

Minerali. Borsa per raccolta dei –, 304.
Minerali. Classificazione dei –, 298.
Minerali. Cristalli –, 296.
Minerali. Gravità specifica dei –, 301.
Minerali. Malleabilità dei –, 300.
Minerali. Raccolta dei –, 295.
Minerali. Scala delle durezze dei –, 299.
Minidrina, 206.
Missilimodelli. Strumentazione nei –, 605.
Missilimodellismo, 596-611.
Molatura di specchi per telescopi (tecnica), 9.
Molecole. Ionizzazione delle –, 468.
Molecole di idrocarburi a legami incrociati, 460.
Molibdato, 298.
Molibdeno (uso nei tubi a raggi X), 676.
Monocromatore, 51.
Montagne. Formazione delle –, 317.
Montatura per semplice telescopio, 8.
Montecarlo. Metodo di – (per determinazione aree), 536.
Morrison. Orologio di –, 709.
Moto perpetuo (costruzione di macchine), 745.
Motori termici ad elastico, 740-745.
Motori termici miniatura, 737.
Movimento automatico per telescopi, 25.
Movimento rotatorio. Conversione del calore in –, 737.
Multivibratore, 710.
Mutanti. Batteri –, 158.
Mutazioni nei batteri. Determinazione di –, 158.

Naturali. Scienze –, 233-292.
Nebulosità nella camera a nebbia, 419.
Negativa. Reazione – (nel pilotaggio elettronico), 47.
Neomicina, 150.
Neutrofile. Cellule – (nel sangue), 179.
Newton. Anelli di –, 694.
Nichel, 304.
Nido di colibrì, 250.
Nitrato di piombo (per ionizzare l'aria), 371.
Nubi (cumulonembi), 377-380.
Nuclei di condensazione (nella camera a nebbia), 413.
Nucleo atomico, 671.
Nucleoni. Vortice di –, 446-447.
Numero di Reynolds (aerodinamica), 593.

Obbiettivi di potenza per microscopi (limitazioni), 624.
Obbiettivo. Specchio – (materiale per realizzarlo), 8.
Occultazioni lunari, 70.
Olio. Goccia di – (calcolo del diametro), 497.
Olio. Goccia di – (calcolo della caduta libera), 497.
Olio. Goccia di – (tensione di frenaggio), 500.
Olio. Pompa a vuoto ad –, 472.
Onda di marea, 351.
Onda sismica, 313.
Onde L (sismologia), 313-332.
Onde P (sismologia), 313.
Opali. Colore iridiscente delle – (spiegazione), 692.
Orario. Segnali – (della stazione WWV), 724.
Orientamento dello stornello americano, 273.
Oro, 301.
Orologio ad assorbimento nel gas, 709.
Orologio Marrison, 709.
Orologio piezoelettrico (costruzione), 708-728.
Ortoclasio, 299.
Oscillatore amplificatore (pilotaggio telescopio), 27.
Oscillatore magnetron, 670.

Osservazione stereoscopica. Tecnica per la –, 730.
Ossifraga, 269.
Ottica, 615.
Ottica. Risoluzione – (di Raleigh), 35.
Oudin. Bobina di –, 665.

P onde - (sismologia), 313.
Paleo-indiana. Occupazione –, 124.
Paletti, 129.
Paletti. Segni di – (archeologia), 129.
Palla saltante (esperimento di elettrostatica), 651.
Pantheon, 388.
Parassiti degli uccelli, 274.
Particelle. Acceleratore di – (autocostruzione), 458-482.
Particelle fondamentali. Assi delle –, 447.
Passero, 270-272.
Pece. Forma per quadretti di –, 16.
Pece di pino, 16.
Pece per lucidatura vetro (preparazione), 11.
Pendolo di Foucault, 388.
Pendolo di Foucault (meccanismo MacKay, pilotaggio), 395.
Pendolo. Orologio a –, 709.
Pendolo. Sismometro a –, 310.
Penicillina, 150.
Pepe, 617.
Pericoli delle radiazioni, 481.
Perpetuo. Moto – (costruzione di macchine), 745.
Perturbazioni nell'orbita terrestre, 389.
Petrolio. Etere di –, 200.
Pettirosso, 272.
Pianeta Giove (esposizione per fotografarlo), 49.
Pianeti. Fotografia dei –, 37.
Piante. Numero di specie delle –, 617.
Piceina. Cera – (per alto vuoto), 466.
Pietra da calce, 304.
Piezoelettricità, 303.
Piezoelettrico. Orologio – (autocostruzione), 708-728.
Pilotaggio a transistor per telescopi, 24.
Pino. Pece di – (preparazione), 16.
Pinzette, 476.
Piombo, 298.
Piombo (per protezione dai raggi X), 682.
Planata. Rapporto di – (aerodinamica), 590.
Planimetro, 543.
Planimetro polare, 540.
Platino, 301.
Platinocianuro (fluorescenza ai raggi X), 674.
Plexiglass. Caratteristiche elettrostatiche del –, 640.
Plexiglass. Lucidatura del –, 489.
Plinio il Vecchio, 617.
Polare. Planimetro –, 540.
Polarità del campo terrestre (inversione), 379.
Polimixina, 150.
Polonio, 371.
Pomice, 188.
Pompa a vuoto a diffusione, 472.
Pompe di prevuoto, 469.
Porter, Russel, 6.
Potassio. Composti del – (sapore), 304.
Potassio cianuro (come insetticida), 260.
Potenza. Generatori elettrostatici di –, 636.
Potenza del generatore Van de Graaff, 651.
Potenziale elettrostatico. Gradiente del –, 646.
Potenziale nel generatore Van de Graaff (limitazione), 657.
Pozzo. Sismometro a –, 348.
Pozzo artesiano, 347.
Precessione nucleare, 447.
Pressione barometrica, 167.
Pressione. Onde di – (sismologia), 313.

Prevuoto. Pompe di –, 469.
Problemi di poca importanza della natura, 233.
Profili alari (forma), 558.
Proiettili. Punte di – (archeologia), 126.
Proiezione. Geometria di –, 729.
Propellente per razzi, 601.
Propulsione a getto per aeromodelli, 595.
Prospettiva, 729.
Proteine. Misurazioni quantitative sulle –, 228.
Proteine nel sangue (analisi elettroforetica), 226.
Protoni. Accelerazione dei –, 460.
Protoni. Identificazione dei –, 438.
Pseudoscopio (costruzione), 735-737.
Pulegge per macchina Van de Graaff (composizione), 660.
Pupe. Svuotamento delle – (per conservazione), 263.
Pyrex. Tubo di –, 461.

Quadranti. Elettrometro a –, 371.
Quarzo, 299-301, 616.
Quarzo. Fibra di –, 372.
Quarzo. Oscillatore a – (per 120 kc), 711.

Radiattivo. Materiale – (gratuito), 415.
Radiazione. Pericoli della –, 481.
Radiazione ultravioletta, 672.
Radiazione X bianca, 674.
Radiografie a raggi X, 668.
Raggi cosmici. Rivelazione dei –, 422.
Raggi luminosi. Divisione dei –, 698.
Raggi X. Apparecchio per – (costruzione), 664-683.
Raggi X. Natura dei –, 668.
Raggi X (tracce nella camera a nebbia), 444.
Raleigh (risoluzione ottica), 35.
Rame, 303.
Rampa di lancio per missilimodelli, 603.
Rapporto di espansione (nelle camere a nebbia), 414.
Rapporto L/D (acrodinamica), 560.
Ratti. Cicli respiratori nei –, 181.
Ratti. Pulsazioni cardiache nei –, 180.
Ratti. Temperatura corporea nei –, 180.
Ratti. Tranquillanti ai –, 169-185.
Razzi. Alette per –, 606.
Razzi. Funzionamento del motore dei –, 606.
Razzi. Propellente per –, 601.
Razzi. Segnali bengala per –, 605.
Razzi. Traiettoria dei –, 609.
Reattore breeder, 296.
Refrigerante per camera a nebbia a diffusione, 423, 437.
Refrigeratore. Tubo per – (realizzazione), 683-691.
Registratore a tamburo (sismologia), 344.
Registratore sismografico a tamburo, 344.
Relativistica. Massa –, 441.
Respirazione. Quoziente di – (calcolo), 191.
Respirazione. Ritmo di – (nei ratti), 182.
Rete per cattura rettili, 279.
Reticolo di diffrazione, 52.
Rettili, 277-292.
Rettili. Acquario per –, 287.
Rettili. Borsa per trasporto –, 283.
Rettili. Dieta per –, 286.
Rettili. Gabbia per –, 284.
Rettili non acquatici, 284.
Rettili terrestri, 285.
Reynolds. Numero di – (aerodinamica), 593.
Riflessione. Telescopio a –, 8.
Rilevamento archeologico, 121.
Rimbalzo delle pietre (giuoco), 749-752.
Risolutivo. Potere – (nei grandi telescopi), 35.
Risoluzione ottica (criterio di Raleigh), 35.

Risonanza magnetica. Spettrometro a –, 445.
Risonanza magnetica nucleare, 447.
Risonanza nucleare (scambio di energia), 448.
Ristagno. Punto di – (aerodinamica), 579.
Rocce, 295-308.
Roentgen, Wilhelm Konrad, 669.
Rondini, 266.
Rotatorio. Trasformazione del calore in movimento –, 737.
Rufo. Colibrì –, 235.

S onde – (sismologia), 313.
Sabbia, 302.
Sangue. Colorazione campioni di –, 179.
Sangue. Prelevamento campioni di –, 175.
Sangue. Preparazione campioni sottili di –, 179.
Sangue. Proteine nel – (analisi elettroforesi), 227.
Sangue. Tecnica per conteggio cellule nel –, 176.
Sangue. Traccia differenziale di –, 178.
Sapone. Bolle di – (iridescenza), 692.
Satelliti. Distanza dei – (formula per calcolo), 356.
Satelliti artificiali, 353.
Satelliti artificiali. Tracking dei –, 353-364.
Saturno. Fotografia di – (esposizione), 49.
Sbozzi di vetro per specchi di telescopi, 9.
Scala durezze dei minerali, 299.
Scarica a corona, 645.
Scariche atmosferiche. Rivelatore delle –, 383.
Scavi archeologici. Condizioni per gli –, 128.
Schermo termico per molatura specchi, 18.
Scisti, 304.
Scuotimento. Onda di – (sismologia), 331.
Segnalazione. Bengala di – (missilimodellismo), 605.
Segnali. Generatore di – (missilimodellismo), 355.
Segnali orario della stazione WWV, 724.
Sensibile. Elemento – (per sismometro), 310.
Sensibilità come funzione di instabilità, 740.
Serpenti, 277.
Serpenti a sonagli, 291.
Serpenti a sonagli (tecnica per mordere), 233.
Seta. Baco da – 254.
Sfere per macchina Van de Graaff (reperibilità), 659.
Sguardo incrociato. Visione stereoscopica a –, 732-734.
Silicato, 298.
Silice, 617.
Silice. Gel di –, 200.
Silicio, 303.
Sismica. Bobina –, 324.
Sismica. Onda –, 313.
Sismico. Pendolo –, 333.
Sismografo. Smorzamento critico nel –, 325.
Sismografo elettronico, 319-329.
Sismogramma di arrivo (sismologia), 314.
Sismologia dilettantistica, 308-318.
Sismometro, 310.
Sismometro. Elemento sensibile per –, 310.
Sismometro a bassa frequenza, 326.
Sismometro a componente orizzontale, 337.
Sismometro dinamico, 346.
Smorzamento critico nei sismografi, 325.
Società Americana Interplanetaria, 598.
Società Americana Razzi, 598.

Società Britannica Interplanetaria, 598.
Sodio. Carbonato di –, 200.
Sodio. Fiamma del –, 694.
Sodio. Luce del – (misurazione lunghezza onda), 706.
Sodio preparato (per assorbimento CO_2), 189.
Sole. Declinazione del –, 107.
Sole. Divergenza dei raggi del, 85.
Sole immaginario, 103.
Solstizio d'estate, 105.
Solventi per cromatografia, 200.
Soluzione buffer, 179.
Sostentamento. Coefficiente di – (aerodinamica), 560.
Sovrassaturazione nella camera a nebbia, 411.
Specchietto diagonale per telescopio, 8.
Specchio per telescopio. Materiali per –, 8.
Specchio per telescopio. Molatura dello –, 9.
Specie animali. Numero delle –, 615.
Specie vegetali. Numero delle –, 615.
Specifica. Gravità – (formula per calcolo), 301.
Specifica. Gravità – (nei minerali), 300.
Specimen di insetti. Confezione buste per –, 260.
Specimen di insetti. Montatura degli –, 261.
Specimen di sangue, 175.
Specimen microscopici, 616.
Spettro a raggi X, 664.
Spettro di risonanza magnetica, 456.
Spettro ottico. Spiegazione dello –, 52.
Spettrografo, 51.
Spettrometro a risonanza magnetica, 445.
Spina, frate, 617.
Spinaci. Foglie di – (analisi cromatografica), 208.
Spostamento. Sismografo a –, 325.
Spuri. Ioni – (nella camera a nebbia), 414.
Sputnik I, 360.
Stabilità. Esperimenti sulla –, 740.
Statica. Elettricità –, 635.
Stellare. Atmosfera – (rivelazione), 81.
Stelle. Soppressione brillamento delle –, 35.
Stereoscopici. Disegni – (tecnica), 730-734.
Sterna comune, 272.
Stoot. Rondella di – (stabilizzazione pendolo), 394.
Stornello, 272.
Stornello americano. Istinto di orientamento dello –, 273.
Strato limite (aerodinamica), 579.
Streptomicina, 150.
Strumentazione di missilimodelli, 605.
Suono. Barriera del –, 552.

Talco, 200-299.
Talete di Mileto, 637.
Tangente. Vite – (lavorazione), 701.
Tartaglia, Niccolò, 522.
Tartarughe, 282.
Tartarughe (coppe per allevamento), 287.
Tartarughe acquatiche, 287.
Tavoletta per entomologo, 261.
Telescopio. Invenzione del –, 4.
Telescopio. Montatura per –, 22.
Telescopio. Movimento orologeria per –, 25.
Telescopio. Pilotaggio transistorizzato per –, 24-34.
Telescopio a riflessione, 8.
Telescopio di avvicinamento, 491.
Telescopio di grandi dimensioni (giustificazione), 42.
Telescopio di grandi dimensioni (potere risolutivo), 35.
Telescopio per principianti, 6-24.
Temperatura. Controllo della – (negli acquari), 285.
Temperatura. Gradiente della – (camere a nebbia), 423.

Temperature. Basse – (produzione), 683.
Tempo. Circuito a – (per pilotaggio telescopi), 48.
Tempo. Circuito a – (per strumentazione razzi), 607.
Tempo. Equazione del –, 107.
Tempo. Previsioni del – (apparecchio elettronico), 376-386.
Temporali, 367.
Temporali di vento, 376.
Tensione di frenaggio (per goccia d'olio), 500.
Teofrasto, 615.
Termica. Corrente atmosferica –, 589.
Terra. Carica elettrica della –, 364.
Terra. Nucleo centrale della –, 317.
Terra. Perturbazione dell'orbita della –, 389.
Terra. Rotazione della –, 84.
Terra. Rotazione della – (rilevamento), 387-400.
Terramicina, 150.
Terrario casalingo, 290.
Terrella, 91.
Terremoti, 308-329.
Terremoti. Energia dei –, 314.
Terremoti. Entità dei –, 315.
Terremoti. Frequenza dei –, 313.
Terremoti. Onde sismiche dei –, 313.
Thysonia Agrippina (insetto), 255.
Tipologia, 126.
Tiselius, Arne, 213.
Titanio. Tetracloruro di – (come fumogeno), 572.
Topazio, 299.
Topo-robot elettronico, 526-531.
Torbidità. Misurazione della –, 154.
Torsione. Bilancia a –, 557.
Torsione. Sismometro a –, 310.
Tracce nucleari, 407.
Tracce nucleari. Analisi delle –, 438.
Traccia. Prova della – (mineralogia), 300.
Tracking di satelliti. Frequenzimetro per –, 355.
Traiettoria dei razzi, 609.
Tranquillanti. Droghe –, 169.
Transistor. Apparecchio a – (pilotaggio telescopio), 24.
Transistor. Collegamento dei –, 30.
Trappola a freddo (costruzione), 473.
Trappola per lucertole (costruzione), 281.
Trappola per rettili, 279.
Trasmutazione del litio in berillio, 459.
Trochilidi, 234-252.
Trochilidografi. Società dei –, 241.
Troglodito, 273.
Troglodito. Nido di –, 273.
Tswett, Michael, 196.
Tubo per vortice di Hilsch, 684.
Tubo termoionico. Raggi X prodotti da un –, 676.
Tubo Venturi, 690.
Tungstato, 298.
Tunnel a vento a bassa velocità, 554-560.
Turbolenza dell'atmosfera, 38.
Turbolenza nelle camere a nebbia (eliminazione), 418.
Tussah. Baco da seta gigante –, 254.

Uccelli. Parassiti degli –, 274.
Uccelli. Sopravvivenza dei piccoli –, 271.
Uccelli selvatici, 267.
Ugello per missilimodello, 601.
Ultravioletta. Radiazione –, 672.
Universale. Meridiana –, 84-99.
Uragani. Formazione degli –, 381.
Uranato, 298.
Uranio, 296-303.
Uranio. Proprietà ionizzanti dell' –, 408.
Uova di insetti (tecnica per il montaggio), 263.
Uova di lepidotteri, 257.

Vacuometro di McLeod, 477.
Valier, Max, 597.
Van de Graaff. Generatore elettrostatico di –, 366.

Van de Graaff. Generatore elettrostatico di – (costruzione), 647.
Van de Graaff. Sfere per generatore – (reperibilità), 659.
Vapore. Fili di – (nelle camere a nebbia), 408.
Vapore d'acqua espirato. Misurazione del –, 190.
Varley. Generatore elettrostatico di – (costruzione), 643.
Vaso di vetro. Camera a nebbia da un –, 414.
Velocità. Sismografo a –, 325.
Velocità dei raggi X, 670.
Velocità terminale della goccia d'olio, 487.
Vento. Tempeste di –, 376.
Vento a bassa velocità. Tunnel – (costruzione), 554-560.
Venturi. Tubo di –, 690.
Vermi di farina (approvvigionamento), 288.
Verticale. Sismografo per componente, –, 340.
Vetrini da microscopia. Preparazione dei –, 622.
Vetrini da microscopia. Pulitura dei –, 178.
Vetro. Bacchette di – (per preparazione lenti sferiche), 618.
Vetro. Foratura del –, 409.
Vetro. Lucidatura del –, 16.
Vetro. Tagli circolari nel –, 416-418.
Vetro. Taglio di recipienti di –, 416.
Via Lattea, 3.
Vibrante. Ala –, 582.
Vino. Analisi elettroforetica del –, 220.
Viomicina, 150.
Vita dei colibrì. Durata della –, 252.
Vite tangente. Lavorazione della –, 701.
Voltaggio di blocco della goccia d'olio, 500.
Vortice. Tubo a –, 684.
Vortici alle estremità delle ali (aerodinamica), 566.
Vuoto. Pompa a – (da un compressore di frigo), 469.

Wapanucket. Evaquazione di –, 122-136.
Wapanucket n.º 6. Scavi a –, 122-136.
Weichert. Sismometro di –, 310.
Wein. Oscillatore a ponte di –, 29.
Wheeler, William Morton, 265.
Willemite, 302.
Wilson, C.T.R., 406.
Wimshurst. Generatore elettrostatico di –, 484.
Winkler, Johannes, 597.
Wood Anderson. Sismometro di –, 338.
Wright. Colorante di –, 179.
WWV. Segnali orario delle stazioni –, 724.
Wyld, James, 597.

Xantofilla, 198.
X. Raggi –, 636.

Zaffiro, 299.
Zeeman. Effetto –, 53.
Zinco, 301.
Zinco-zolfo. Miscela – (propellente per razzi), 601.
Zolfo, 298.
Zolfo (sfera per macchina elettrostatica), 634.
Zona. Elettroforesi di –, 212-230.
Zucchero polverizzato, 200.

Stampato
nelle Officine Grafiche Fratelli Stianti
Sancasciano Val di Pesa (Firenze)
— Novembre 1964 —

Prezzo L. 5000

Lo scienziato dilettante

a cura di C.L. Stong

Sansoni editore

Biblioteca di «Galileo»

La Biblioteca di « Galileo » si richiama alla Enciclopedia delle scienze e delle tecniche pubblicata dalla Sadea-Sansoni Edizioni periodiche e vuole costituirne il naturale completamento.
In questa Biblioteca sono previsti volumi di carattere pratico, esperimenti da realizzare anche con mezzi limitati, l'esemplificazione sperimentale dei concetti teorici espressi nella Enciclopedia.
Lo scienziato dilettante, il collezionista amatore, l'appassionato di calcolo e di curiosità matematiche, troveranno in questi volumi una fonte inesauribile di apprendimento e di svago.

1. *Lo scienziato dilettante*
   a cura di C. L. Stong

In preparazione:

2. *Il laboratorio vivente*
   a cura di James e Rebecca Witherspoon
3. *Curiosità matematiche*
   a cura di Martin Gardner
4. *Errori e finzioni nel nome della scienza*
   a cura di Martin Gardner

I titoli dei volumi successivi verranno di volta in volta annunziati nei fascicoli dell'Enciclopedia « Galileo » e nei bollettini della Casa Editrice.

Lo scienziato dilettante

a cura di C.L. Stong

Sansoni editore